



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Alari Kukk

**ÕPPEVAHEND PÖÖRDLAUA KASUTAMISEST
CNC-TÖÖTLEMISKESKUSES**

TEACHING AID FOR USAGE OF ROTARY TABLE
AT CNC MILLING CENTRE

Magistritöö
Tootmistehnika õppekava

Juhendaja: Tõnu Leemet, PhD

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Alari Kukk		Õppekava: Tootmistehnika Magister	
Pealkiri: Õppevahend pöördlaua kasutamisest CNC-töötlemiskeskuses			
Lehekülgi: 76	Jooniseid: 24	Tabeleid: 3	Lisasid: 9
<p>Osakond / Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood:</p> <p>ETIS teadusvaldkond 4. Loodusteadused ja tehnika</p> <p>ETIS teaduseriala 4.14. Tootmistehnika ja tootmisjuhtimine</p> <p>CERCS teaduseriala T130 Tootmistehnoloogia</p> <p>Juhendaja(d): Tõnu Leemet, PhD</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2019</p>			
<p>EMÜ TI õppekavades pakutava õppe sisu peab olema tehnoloogiliselt võimalikult mitmekülgne. Senini puudub Tehnikainstituudi õppetöös 3+1 töötamise pöördlaua osa. Päevakorda kerkis vajadus ja võimalus koostada õppevahend, mis on sobiv õppeainete “APJ seadmete” ja “CAM-süsteemid I” läbiviimisel.</p> <p>Lõputöö eesmärgiks oli tutvuda Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi CNC laboris oleva õppeeksperimentaal APJ freespingi lisaseadmega ning arendada pöördlaua põhjal laboratoorsete tööde kogumik, mis sisaldab kaasaegset CAM-süsteemide tundmaõppimist, töötlemiskeskuse üles seadistamist ja on seotud erinevate tootmis valdkondadega. Vastava süsteemi võimaluste detailine tundmine on insenerikutse üheks vajalikuks osaks. Eesmärgini jõudmiseks uuriti pöördlaua <i>HRT160</i> olemust ja tehnoloogilisi võimalusi. Loodi puuduolevad abitarvikud ning laboratoorsete tööde kogumik. Töö tulemusena valmis õppevahend, kasutamiseks tootmistehnika alases kõrghariduses EMÜ TI’s, mis annab juurde uue väljundi tootmistehnika alasesse kõrghariduse õppesse Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudis ja Tartu Tehnikakolledžis.</p>			
Märksõnad: Freesimine, pöördlaud, 3+1 töötus, laboratoorne			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Alari Kukk		Curriculum: Production Engineering	
Title: Teaching aid for usage of rotary table			
Pages: 76	Figures: 24	Tables: 3	Appendixes: 9
Department / Chair: Biosystems engineering Field of research and (CERC S) code: ETIS 4. Natural Sciences and Engineering ETIS 4.14. Industrial Engineering and Managment CERCS T130 Production Technology Supervisors: Tõnu Leemet, PhD Place and date: Tartu, 2019			
<p>The content of the curriculum offered by the EMÜ TI curricula must be as technologically diverse as possible. So far there is no part of the 3+1 milling in the Institute of Technology. There was a need and opportunity to create an educational tool that is suitable for subjects “APJ seadmed” and “CAM-süsteemid I”.</p> <p>The aim of the thesis was to explore the rotary table HRT160 and develop a collection of laboratory works based on a rotary table, that includes modern knowledge of CAM systems, setting up a work place and are related to different manufacturing areas. Knowledge of the capabilities of that kind of system is an essential part of engineering.</p> <p>To achieve the goal, has the author of the thesis made research of rotary table HRT160, developed missing parts and made a collection of laboratory works. The result of the work was a completed educational tool for higher education in manufacturing technology at EMU TI, which provides a new output for higher education in manufacturing technology at the Estonian University of Life Sciences Institute of Technology and Tartu Technical College.</p>			
Keywords: Milling, rotary table, 3+1 milling, laboratory			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1 ARVPROGRAMM TÖÖTLEMINE - FREESIMINE	8
1.1 Arvprogrammjuhtimisest üldiselt	8
1.2 Manuaalpingi ja arvjuhtimisega pingi erinevused	8
1.3 APJ pingi juhtpult.....	10
1.4 Arvjuhtimise programmeerimise alused.....	10
1.5 3+1 freesimine	12
1.6 3+1 freesimine EMÜ TI <i>Haas SuperMinimill S MINImill HE</i> baasil	15
2 Probleemi kirjeldus	17
3 Lahendus	18
3.1 Abitarvik - flantsi loomine	18
3.2 Abitarvik - treipadrundi pakid	21
3.2.1 Korrektselt töödeldud pehmed pakid - kinnitamise põhialused	21
3.2.2 Pehme treipakkide loomine	23
3.2.3 Pehme treipakkide katsetamine treipingis	26
3.3 Laboratoorsed tööd	26
3.3.1 Pöördlaua paigaldamise juhend.....	27
3.3.2 Pöördlauale töö seadistamise juhend.....	28
3.3.3 Interaktiivse lõikeinstrumendi kataloogi loomise juhend	28
3.3.4 Protsessori modifitseerimine - kohandatud tööriista vahetuse juhend	29
3.3.5 <i>Fusion 360</i> - pöördlaua kasutamise juhend.....	30
KOKKUVÕTE.....	31
KASUTATUD KIRJANDUS	33

LISAD	34
Lisa 1. Joonised	35
Lisa 2. Seadekaardid.....	37
Lisa 3. Pehmele pakkide treimine.....	42
Lisa 4. Pöördlaua <i>HRT160</i> paigaldamise juhend.....	43
Lisa 5. Pöördlauale töö seadistamise juhend	47
Lisa 6. Interaktiivse lõikeinstrumendi kataloogi loomise juhend.....	50
Lisa 7. Protsessori modifitseerimine - kohandatud tööriista vahetuse juhend	63
Lisa 8. <i>Fusion 360</i> - pöördlaua kasutamise juhend	70
Lisa 9. Lihtlitsents	76

SISSEJUHATUS

Kõige olulisem töötleva tööstuse haru Eestis on masinatööstus. Enamus tänapäeval toodetud tööpinkidest on arvjuhtimisega. Manuaaljuhtimisega pinke kasutatakse harva aga ka need ei ole päriselt kuhugi kadunud. Nendega teostatakse üksik- ja abitöötlemit. Arvjuhtimisega pinkide kasutuselevõtt võimaldab tootmist paremini automatiseerida. Konkurents püsimiseks on vaja tõsta masinate efektiivsust, tänu millele on võimalik tagada soodsam ja kvaliteetsem detail koos kiire tarneajaga. Selle saavutamiseks on võimalik lisada arvjuhtimisega töötlemiskeskustele pöördlaud, mis annab võimaluse valmistada ettenähtud detail vähemate operatsioonidega ning saavutada täpsemas mõõdustikus lõpp produkt. [1;2]

Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi õppekavades pakutava õppe sisu peab olema tehnoloogiliselt võimalikult mitmekülgne. Senini on puudunud tehnikainstituudi õppetöös 3+1 pöördlaua osa. Lõputöö teema valikule ajendas asjaolu, et Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi Tootmistehnika osakond omab järgmisi aineid: 1) TS.0008 “CAM süsteemid I” - rakenduskõrghariduse astmele; 2) “Arvjuhtimisega tööpingid” – magistrantuuri ja -rakenduskõrghariduse astmele. Eelmainitud ainete juhendamisel teostatakse laboratoorseid töid. Tööde teostamiseks kasutatakse instituudis olemasolevaid arvprogrammjuhtimisega tööpinke - freestöötluskeskusi ja treitöötluskeskust. Alates sügissemestrist hakatakse veel lisaks õpetama ka ainet “CAM süsteemid II”.

2007ndal aastal soetatud freesimis töötlemiskeskusega tuli lisavarustusena kaasas pöördlaud, mis on võimalik paigaldada freespinkide *Haas SuperMinimill S MINImill HE*. Tänase hetkeni 3+1 töötlust süsteemselt ei õpetata. Päevakorda kerkis vajadus ja võimalus koostada õppevahend, mis on sobiv õppeainete “APJ seadmete” ja “CAM-süsteemid I” läbiviimisel. Tööturg vajab sellise pädevusega inimesi. Ühtlasi annab see võimaluse tõsta instituudis teostatava teadustöö kvaliteeti läbi kohapeal valmistatavate komponentide valiku laienemise. Lisaks eelnevale annab selline arendus juurde võimalusi koostööks ettevõtetega teadus - ja teenustöö läbiviimiseks.

Lõputöö eesmärgiks on tutvuda Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi CNC laboris oleva õppeeksperimentaal arvprogrammjuhtimisega (edaspidi APJ) freespingi lisaseadmega ning

arendada pöördlaua põhjal laboratorsete tööde kogumik, mis sisaldab kaasaegset CAM-süsteemide tundmaõppimist, töötlemiskeskuse üles seadistamist ja on seotud erinevate tootmisvaldkondadega. Vastava süsteemi võimaluste detailine tundmine on insenerikutse üheks vajalikuks osaks.

Eesmärgini jõudmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

1. Omandada põhiteadmised pöördlaua *HRT160* olemusest, tehnoloogilistest võimalustest ja töötamisest.
2. Luua puuduolevad abitarvikud.
3. Luua laboratorsete tööde kogumik.

Käesolev lõputöö algab teoreetilise osaga, milles kirjeldatakse arvprogrammjuhtimist, antakse ülevaade 3+1 töötlemisest freespingiga ning EMÜ TI olemasolevatest seadmetest. Ettevalmistavas osas kirjeldatakse probleemi, mida antud töö raames hakatakse lahendama. Lõputöö lõppeb abitarvikute ja laboratorsete tööde kogumiku loomisega.

1 ARVPROGRAMM TÖÖTLEMINE - FREESIMINE

1.1 Arvprogrammjuhtimisest üldiselt

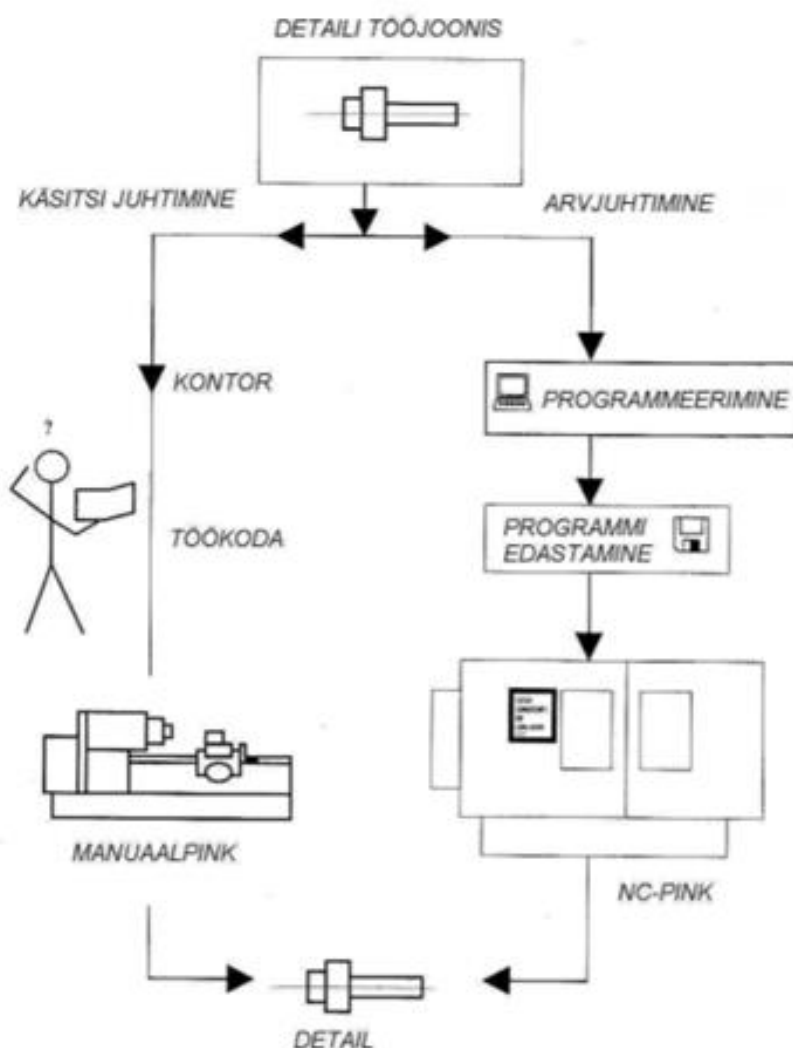
Tänapäevased arvprogrammjuhtimisega tööpingid kujutavad endast mehhatroonikasüsteeme, kus mehaanilised, elektroonilised ja infotehnoloogilised alamsüsteemid tagavad koostoimimisel efektiivse terviku, mis väljendub nõuetekohase detaili valmimises. Esimene arvjuhtimisega freespink ehitati 1952. aastal Ameerika Ühendriikides. Pink ehitati kuna tööstuses suurenesid toodangute mahud ja oli vaja muuta pingitöölise tööiseloому, vabastada tööline rutiinsest ja pingelisest juhtimistegevusest detaili töötlemisel. Antud pinkidel oli suur osatähtsus keeruliste kujupindadega detailide tootmisel, kuna universaalspinkidel puudus võimalus nihutada lõikeinstrumenti korraga kolmes või ka enamas telgede suunas. Detailide mõõtmete kõikumine vähenes oluliselt. [4]

Töötlemise automatiseerimiseks on metallilõike pinkidele lisatud seadmed, mis suunavad lõikeinstrumendi liikumist vastavalt juhtprogrammi lisatud käsklustele. Arvprogrammjuhtimisega tööpingi juhtsüsteemi ülesandeks on töötsükli juhtimine, töödeldava detailide ja lõikeriistade vahetamine, töödeldava detaili parameetrite kontrollimine ning abioperatsioonide teostamine. Juhtsüsteemi sisendiks on juhtprogramm, mis sisaldab infot detaili, töötlemistehnoloogia, lõikeinstrumentide ja tööpingi võimaluste kohta. Juhtprogramm sisestatakse juhtsüsteemi andmekandja või võrguühenduse abil, lühemad ja lihtsamad programmid võib luua ka otse tööpingis, juhtpuldil. Andmed säilitatakse kontrolleri mälus, neid töödeldakse kesk protsessoris, väljundsignaalid saadetakse täituritele (servomehhanismid, pumbad, releed jms). Servomehhanismid liigutavad tööpingi töölauda või spindlit, samal ajal kontrollitakse pidevalt, et tegelikud telgede liikumiskiirused ja töölauda asend vastaksid ettenähtule, vajadusel korrigeeritakse liikumise kiirust ja positsiooni. [3]

1.2 Manuaalpingi ja arvjuhtimisega pingi erinevused

Manuaalselt juhitava ja arvjuhtimisega pingi töötlusel ei ole lõikeinstrumendi liikumisel materjali mingit erinevust – laast eraldub täpselt samamoodi. Manuaalselt juhittavas pingis peab operaator ise liigutama lõikeinstrumenti. Tööline jälgib instrumendi asendit ja peab peatama

instrumendi kui vajalik mõõde on saavutatud. Arvjuhtimisega pingis on lõikeinstrumendi liikumine automatiseeritud. Instrument liigub mööda etteantud trajektoori. Kogu töötlemiseks vajalik info on salvestatud juhtprogrammi. Seal on käsud instrumendi liikumise kohta ühest punktist teise, spindli pöörlemissagedused erinevate lõikeinstrumentide korral, lõikeinstrumendi vahetus, vajalik ettenihe. Vastavalt sellele programmile antakse signaalid edasi pingi täituritele, antud juhul mootoritele. Signaalid muundatakse ja võimendatakse reeglina pingi juhtkilbis. Kahe erineva pingi tööd iseloomustab joonis1.[4]



Joonis 1. Manuaalpingi ja arvjuhtimisega pingi võrdlus.[4]

Lisaks sellele kasutatakse arvjuhtimist muudes seadmetes nagu lehetöötluskeskused, erosioonpingid ja koordinaatmõõtemasinad.[4]

1.3 APJ pingi juhtpult

APJ-pingi operaatoripuldile on välja toodud kõik informatsiooni vastuvõtmiseks, vaatamiseks, sisestamiseks, töötlemiseks, muutmiseks ja säilitamiseks vajalikud juhtorganid. Operaatoripuldid on erinevalt ühendatud pingiga, enim levinud kinnitusviis on pingi konstruktsiooni sisseehitatud moodul. Esineb konsoolina asetsevaid operaatoripulte ja variante, kus operaatoripult on eraldi plokinähtav pingi konstruktsiooni külge kinnitatud.



Joonis 2. *Haas SuperMinimill S MINImill HE* juhtpult.

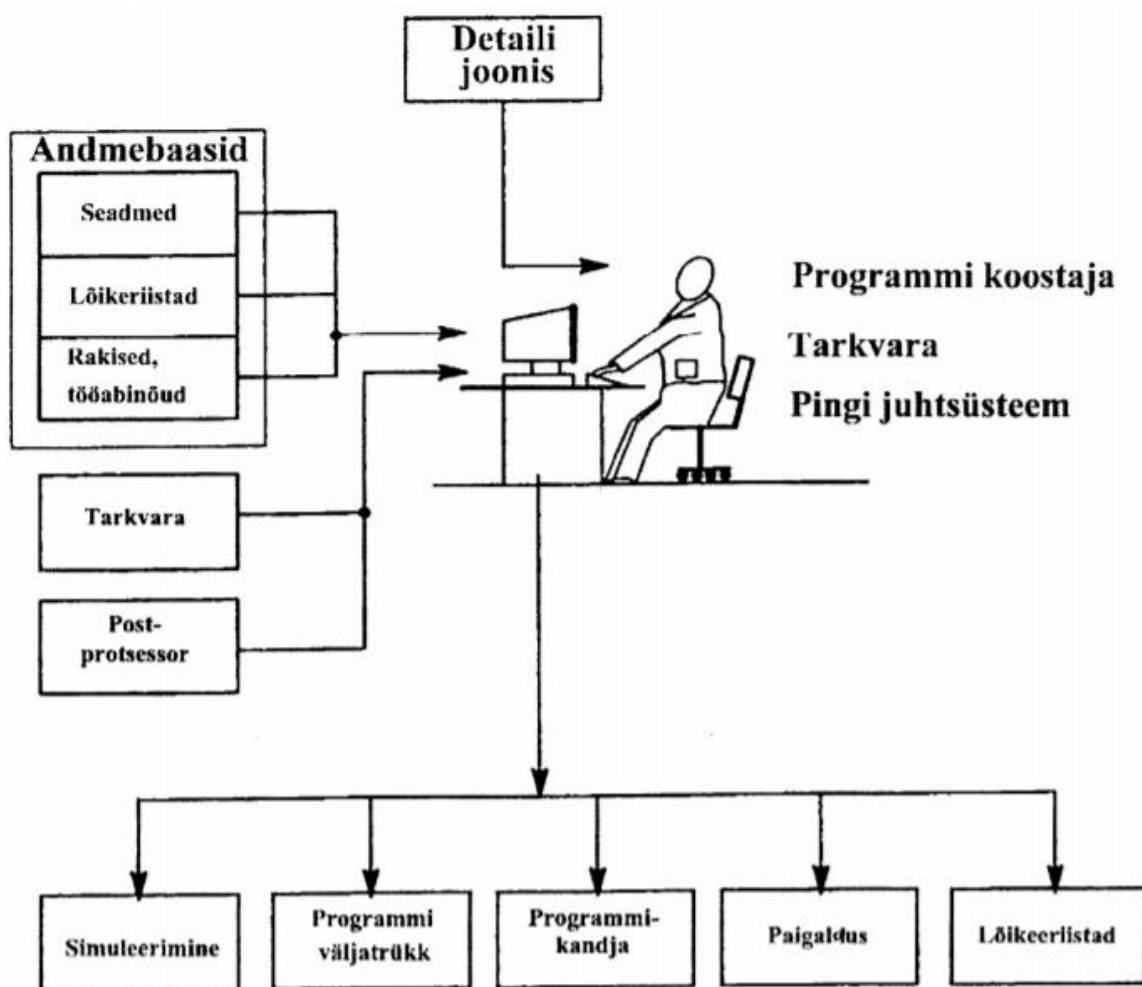
Operaatoripuldilt toimub pingi töörežiimide valik, nende muutmine ja üldine juhtimine. Juhtpuldi ehitus sõltub ka sellest, milline on pingi juhtsüsteem.[4]

Joonisel 2. on väljatoodud *Haas SuperMinimill S MINImill HE* juhtpult.

1.4 Arvjuhtimise programmeerimise alused

Detailide töötlemise automatiseerimiseks varustatakse metallilõikepingid seadmetega, mis juhivad lõikeinstrumendi liikumist. Seda kogumit, mis kindlustab tehnoloogilise protsessi kulgemise nimetatakse juhtsüsteemiks. Infoallikaks, mille alusel juhtplokki väljastab juhtsignaale on töötükli juhtprogramm, süsteem pink-rakis-lõikeinstrument-detail, ümbritsev keskkond, adaptiivplokki, diagnostikasüsteem. Kusjuures osa infot – alginfot, antakse juhtplokki enne töötükli algust ja teine osa vajaminevast infost saadakse töötlemise käigus mitmesugustelt anduritelt. See kindlustab töötlemisprotsessi pidevust, sujuvust ja kiirust. [4]

Alginfo koosneb geomeetrisest, tehnoloogilisest ja abiinformatsioonist. APJ-pingi juhtsüsteemi ülesandeks on töotsükli juhtimine (töö- ja abiliikumiste juhtimine ning mitmesuguste mehhanismide sisse- ja väljalülitamine), töödeldavate detailide ja lõikeinstrumentide vahetamine, töödeldava detaili parameetrite kontrollimine, abioperatsioonide teostamine (blokeerimine, süsteemi töö kontroll). [4]

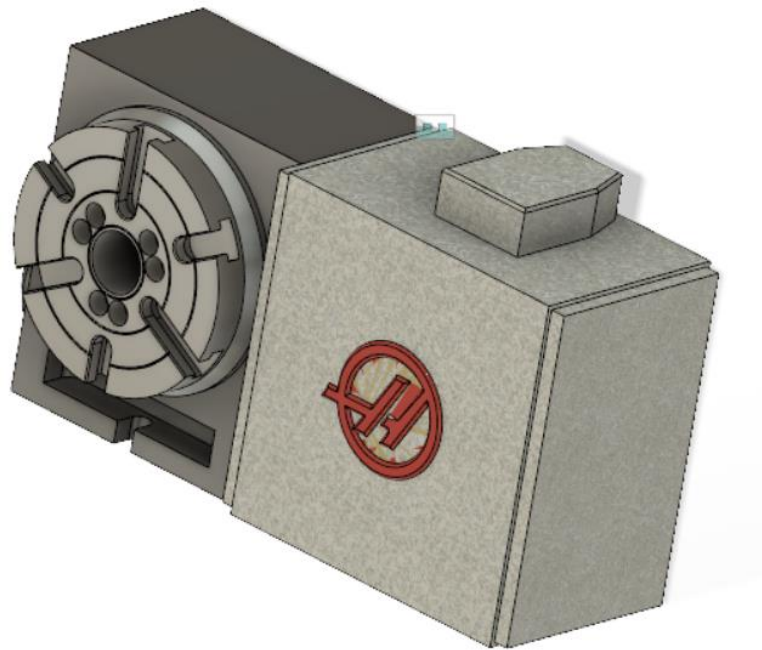


Joonis 3. APJ-pingi juhtprogrammi koostamiseks vajalik info. [4]

APJ-pingid kasutavad numbrilist programmi. Juhtprogramm kujutab endast programmeerimiskeeles antud käskude jada, mis vastab konkreetse detaili töötlemisele konkreetsel pingil (Joonis 3.). Juhtprogramm koosneb standardsetest sümbolite kogumist – koodist. Koodi sümboliteks on numbrid, tähed, märgid. [4]

1.5 3+1 freesimine

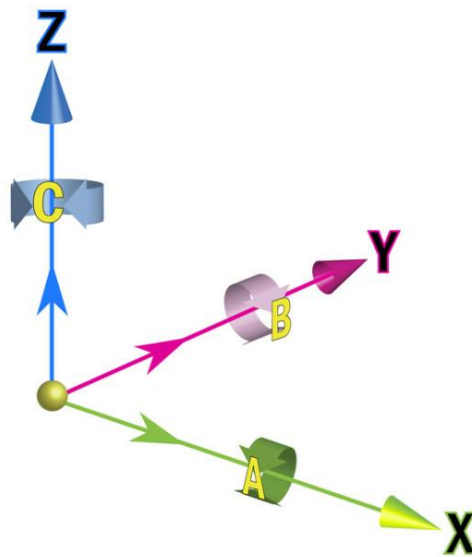
Pöörleva detaili freesimine võimaldab töödelda kruvisooni, silindrilisel või koonilisel pinnal paiknevaid juhtsooni, tihendisooni ning muid sarnase kujundusega detaile. Pöördlaud (Joonis 4.) on paigutatud paralleelselt ühe masina lineaarse teljega – XYZ. Telje juhtimiseks tuleb pöördlaud ühendada freespingi kontrolleriiga, vastasel juhul pole võimalik juhtida seadet. [3,5]



Joonis 4. Pöördlaua 3D mudel.

Kasutuses on kahte tüüpi pöördlaudu – indekseeritavad ja servo juhitud. Indekseeritavaid kasutatakse positsioneerimiseks, olenevalt millist külge detailil soovitakse töödelda. Selline lahendus võimaldab saavutada täpsemas mõõteklassis lõpp produkti, vähendada operatsioonide arvu ja üles seadistamise aega. Indekseeritavatel on lukustid, mis on vabastatud olekus, kui telg on pöörlemas soovitud punkti ning lukustus aktiveerub, kui on jõutud etteantud punkti. Indekseeritavad pole võimelised pöörlema ümber oma telje samaaegselt, kui toimub töötus. Kasutades indekseeritavaid pöördlaudu selliselt, võib kahjustada seadme sisemisi mehhanisme. Servo juhitavaid on võimalik kasutada nii positsioneerimiseks ja töödelda samal ajal, kui toimub pöörd liikumine. [5]

Telgede juhtimiseks APJ pinkides on neile määratud tähised. Olenevalt mis suunas pöörlev telg asub, olenevalt sellest saab määrata tähise Telgede suunad(Joonis 5.) on määratud olenevalt kuidas on pöördlaud pinki paigutatud.



Joonis 5. Pöördtelgede tähistused. [5]

Levinumatel vertikaal arvjuhitavatel pinkidel(VMc) on pöördlaud paigaldatud paralleelselt X-teljega. Mõningatel horisontaal arvjuhitavatel pinkidel on pöördlaud paralleelne Y-teljega. Olenevalt pinkide eripärast on igal pöörleval teljel tähis. Tabelis 1. on välja toodud telgede tähised.

Tabel1. Pöördtegede tähised.[5]

Telg	Definitsioon
A	Pöörlev telg on paralleelne X-teljega
B	Pöörlev telg on paralleelne Y-teljega
C	Pöörlev telg on paralleelne Z-teljega

Pöördtelgede nurgad kirjutatakse koodi kraadides. Pöördlaua telje pöörlemine toimub päripäeva ja vastupäeva põhimõttel. Päripäeva pöörlemised on positiivsed ning vastupäeva negatiivsed. Antud põhimõtte mõistmiseks kasutatakse parema käe reeglit. Pöörates näpud samasse suunda pöörlemissuunaga nii, et põial on suunatud positiivsesse suunda, näitavad ülejäänud näpud pöörlemise positiivset suunda.[5]

Nii nagu igat telge, saab ka B-telge programmeerida absoluutses ja suhtelises koordinaadistikus. Tabelis 2. on toodud välja näitena absoluutses ja suhtelises koordinaadistikus indekseerimisel kasutatava programmeerimise lause ja selle tähenduse.

Tabel 2. Absoluutses ja suhtelises koordinaadistikus indekseerimine. [6]

Absoluutne koordinaadistik G90		Suhteline koordinaadistik G91	
Programmeeritud lause	Tegelik pöörlemis suund	Programmeeritud lause	Tegelik pöörlemis suund
G90 G28 B0	B-telg on nullpunktis	G90 G28 B0.	B-telg on nullpunktis
G00 B90.0	Päripäeva 90°	G91 G28 B0.	Nullpunkt, pöörlemist ei toimu
B180.0	Päripäeva 90°	G00 B90.0	Päripäeva 90°
B90.0	Vastupäeva -90°	B180.0	Päripäeva 270.000°
B270.0	Päripäeva 180°	B90.0	Vastupäeva 360.000°
B247.356	Vastupäeva -22.644°	B270.0	Päripäeva 630.000°
B0.	Vastupäeva -247.356°	B0.	Pöörlemist ei toimu (0°)
B-37.0	Vastupäeva -37°	B125.31	Päripäeva 755.310
B42.0	Päripäeva 79°	B-180.0	Vastupäeva 575.310
B42.0	Pöörlemist ei toimu (0°)	B-75.31	Vastupäeva 500.000
B-63.871	Vastupäeva -105.871°	B-75.31	Vastupäeva 424.690

Kaks esimest veergu kirjeldavad absoluutses koordinaadistikus G90 töötamist ning kaks viimast veergu suhtelises koordinaadistikus G91 töötamist. Esimesse alamveergu on kirjutatud programmeeritud lause ning teise lause tulemusena toimuva liikumise suund. Tabel 2. aitab mõista B-telje liikumise suundasid, olenevalt millises koordinaadistikus programmeerimine teostatud on. [6]

1.6 3+1 freesimine EMÜ TI Haas SuperMinimill S MINImill HE baasil

Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi töökojas on kasutuses *Haas SuperMinimill S MINImill HE*. Masinaga ühildub pöördlaud *HRT160* (Joonis 6.). Tegemist vertikaalse töötlemiskeskusega, mis on arvprogrammjuhitav.



Joonis 6. A- *Haas SuperMinimill S MINImill HE*. B- Pöördlaud *HRT160*

Tabelis 3. on väljatoodud Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi CNC laboris oleva õppeeksperimentaal arvprogrammjuhitava freespingi *Haas SuperMiniMill S MINImill HE* (edaspidi *Haas MiniMill*) ning selle lisaseadme *HRT160* tehnilised parameetrid.

Tabel 3. Freespingi *Haas MiniMill* ja pöördlaua *HRT160* tehnilised parameetrid. [8,9]

<i>Haas Minimill</i>			<i>HRT160</i>	
Telgede maksimaalsed liikumised	X telg, mm	406	Kinnitusflantsi diameeter, mm	160
	Y telg, mm	305	T-soon, tk	6
	Z telg, mm	254	T-soon nurk, °	60
Töölaud	Pikkus, mm	914	Maksimaalne nurkkiirus, °/s	130
	Kõrgus, mm	730	Maksimaalne pöördemoment, Nm	203
	Laius, mm	305	Tsenter töölauast, mm	127
	T-soone laius, mm	16	Lõtk, kaaresekundites	30

	t-soonte tsentrite vaheline kaugus, mm	110	Pidurdusmoment, Nm	136
	T-soon, tk	3	Ülekandesuhe	63:1
	Lubatud suurim mass laual, kg	227	Suurim programmeeritav pöördenurk, °	999,999
Spindel	Maksimaalne võimsus, kW	11.2	Resolutsioon, °	0,001
	Maksimaalne pöörlemiskiirus, rpm	10000	Täpsus, kaaresekundites	± 15
	Maksimaalne pöördemoment, Nm	23	Korratavus, kaaresekundites	10
	Ajami süsteem	rihmülekanne	Töörõhk, bar	10,3
	Jahutus	õhk	Mass, kg	40,8
Telgede liikumised	Kiirliikumised	X telg, m/min	30.5	
		X telg, m/min	30.5	
		X telg, m/min	30.5	
	Maksimaalne ettenihe, m/min	21.2		
Lõikeinstrumendi vaheti	Tüüp	karusell		
	Maht, tk	10		
	Maksimaalne tööriista diameeter, mm	89		
	Maksimaalne tööriista mass, kg	5.4		
Üldine	Töörõhk, bar	6.9		
	Jahutus vedeliku paagi maht, l	151		

Pöördlauda *HRT160* ga on võimalik töödelda väiksemaid (massiga kuni 8 kg [11]) ja keskmisi (massiga 8-50 kg [11]) detaile. Pöördlauda saab kinnitada horisontaalselt X-telge pidi freespingi lauale, kaustades T-polte.

2 Probleemi kirjeldus

Praeguse hetkeni on puudunud Tehnikainstituudi õppetöös õppevahend 3+1 töötuse pöördlaua osa, mis võimaldaks tudengitel omandada teadmisi eelpool nimetatud töötusest. Selline võimalus võimaldab tõsta instituudis teostatava teadustöö kvaliteeti läbi kohapeal valmistatavate komponentide valiku laienemise.

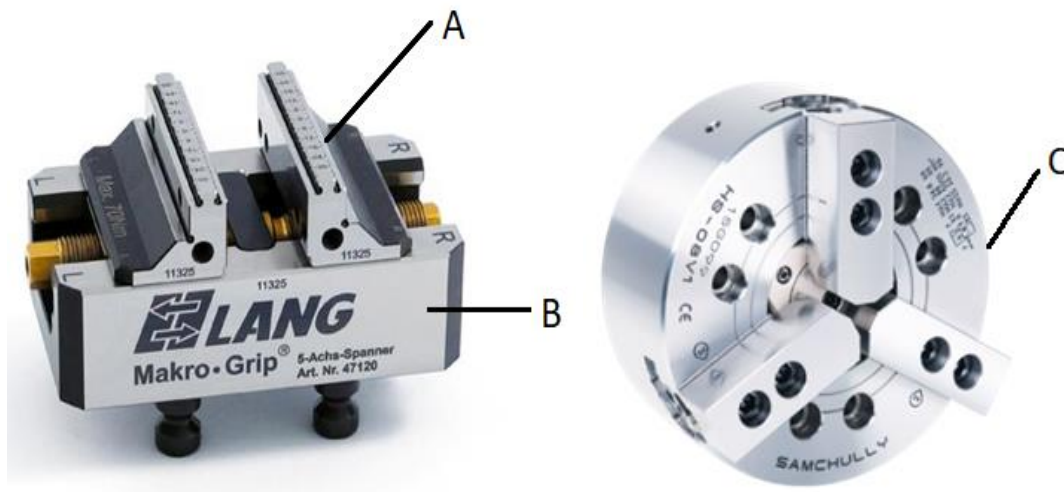
Õppevahendi loomisel leiti, et detailid mis valmistatakse väljundite omastamiseks, võiksid saada praktilist rakendust mõnes muus aines, mis on seotud arvprogrammjuhtimisega. Pärast arutelu ja erinevate variantide kaalumist otsustati luua alumiiniumist pehmed pakid, mida on võimalik kasutada treipingis. Praeguse hetkeni on kasutatud standardseid pakke. Toorikuks pidi olema nelikant profiil, mis tõstatas esile uue probleemi. Tehnikainstituudis olevale pöördlauale pole võimalik kinnitada kruustange, mis võimaldaks fikseerid nelikant profiili. Probleemi lahendamiseks projekteeriti flants, mille saab kinnitada pöördlauale koos kruustangidega.

Uue abitarviku valmimisega sai võimalikuks hakata tegelema laboratoorsete tööde kogumiku loomisega. Kõik valmivad detailid otsustati programmeerida kaasaegses programmeerimise keskkonnas, mis on kõigile üliõpilastele lihtsalt kättesaadav ja võimaldab kasutada tarkvara piiranguteta. Ühe laboratoorsetöö koostamise selgus, et koolis pole olemas vajaliku lõikeinstrumenti, mis on vajalik mõõtmete saavutamiseks. Lisaks elementaarsetele pöördlaua paigaldamisele ja seadistamisele juhiste otsustati kogumiku loomisel keskenduda ka ühele probleemsele punktile, mis varasemalt on töötuse käigus tekkinud. Selleks punktiks on olnud kokkupõrked lõikeinstrumendi ja töölauale olevate vahenditega, mis lahendatakse laboratoorse töö käigus.

3 Lahendus

3.1 Abitarvik - flantsi loomine

Uue laboratoorsete tööde kogumiku väljatöötamise käigus selgus, et olemasolevale pöördlauale pole võimalik kinnitada kruustange. EMÜ TI omab Saksamaa ettevõtte *LANG* kruustange *MacroGrip* 77 (Joonis 7.-A) mõõtudega 77*170 mm ja alus kinnitusplaat *QuickPoint* 52 (Joonis 7.-B) mõõtudega 116*150 mm. Pakkide laiusseks on 77 mm ja käigu pikkuseks on 110 mm või 160 mm.



Joonis 7. A-Kruustangid *MacroGrip* 77[13]. B-Kinnitusplaat *QuickPoint* 52[13]. C-Pöördlaua padrun[18].

Antud kinnitusvahend on disainitud ideaalis olemaks 4-ja 5-teljeliste pinkidel. Kuni praeguse hetkeni oli võimalik töödelda ainult silindrilisi toorikuid kuna pöördlauale oli võimalik kinnitada ainult padrunit(Joonis 7.-C). Probleemi lahendamiseks tuli projekteerida uus flants, mida on võimalik kinnitada pöörlauale.

Detail projekteerimiseks kasutati tarkvara *Solidedge*. CAM programmide loomiseks kasutati *Autodesk*'i alamtarkvara *Fusion360*. Materjaliks võeti olemasolevatest variantidest sobivaim, milleks oli teras S355. Valikus oli ka alumiinium AlMg3, kuid võrreldes terasega on madalamad alumiinium mehaanilistest omadusest tugevus ja kõvadus, füüsikalistest omadustest tihedus ja talitusomadustest kulumiskindlus [12,13,14].

Detaili tehniline joonis asub LISAS 1 ja seadistuskaart LISAS 2. Flantsi valmistamiseks kasutati ettevõtte Irontec OÜ vertikaalset freespinki Haas VF-2'e(Joonis 8.).



Joonis 8. Vertikaalne freespink Haas VF-2.[8]

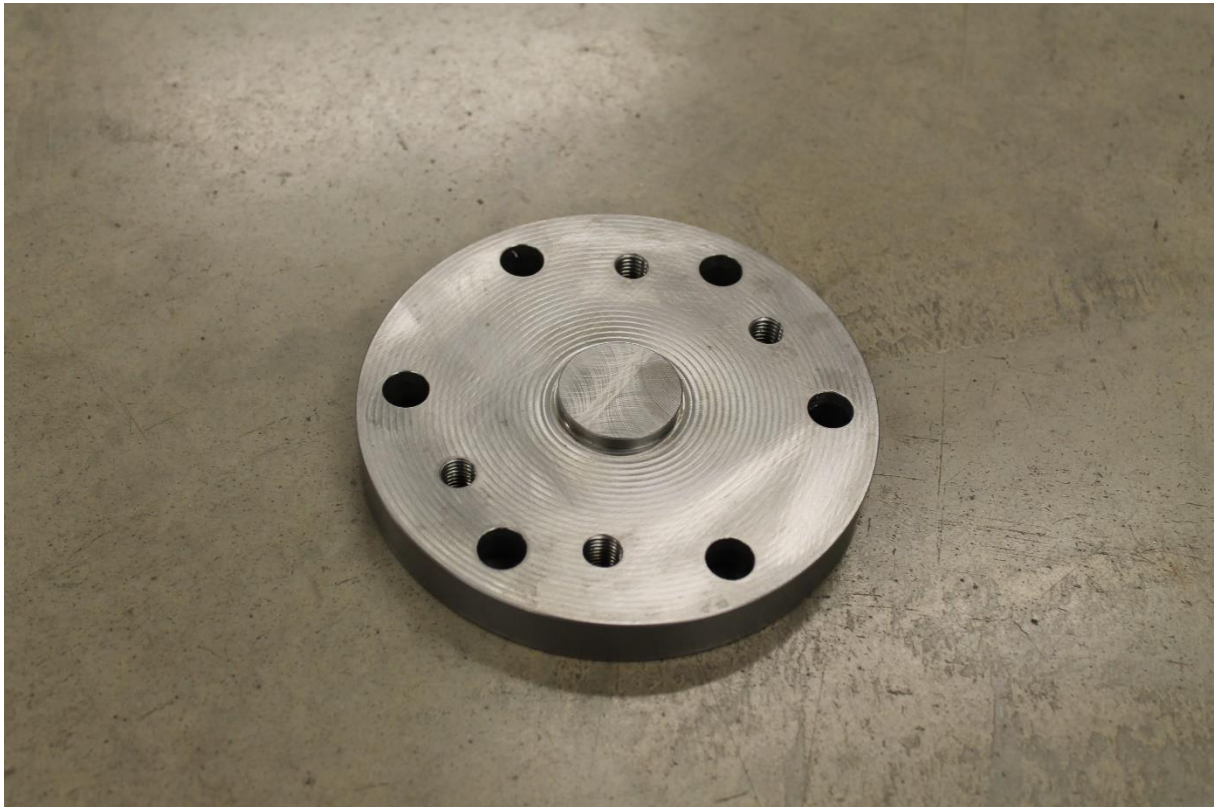
Detail valmistati kolme seadistusega. Esmalt töödeldi ümber detaili üleliigne materjal, puuriti läbi vajalikud avad ning eemaldati krassid faaside näol. Seejärel valmistati vastavalt detaili diameetrile täpsed pakid, millega oli võimalik detail fikseerida. Pehmele pakkide materjaliks kasutati terast S355.



Joonis 9. Valmis detail koos töödeldud pakkidega.

Kolmandaks töödeldi ümber detaili üleliigne materjal, puuriti läbi vajalikud avad ning eemaldati krassid faaside näol.

Pärast detaili valmimist ning esimesel katsetamisel avastati, et projekteerimisel on tehtud viga. Nimelt ei olnud esmasel proovimisel võimalik flantsi tsentreerida pöördlauaga. Probleemi lahendamiseks tuli detailile lisada silinder aste(Joonis 10.), mis istuks täpselt pöördlaua tsentri avasse. Probleemile mitte lahenduse leidmine põhjustanuks detaili viskumist, mistõttu poleks olnud võimalik saavutada madalamate tolerantsi piiride korral soovitud tulemusi detailide töötlemisel.



Joonis 10. Flants koos tsentreerimis astmega.

Peale vea avastamist teostati vajalikud muudatused CAD ja CAM tarkvarades ning modifitseeriti juba olemasolev detail ettenähtud mõõtmetele. Pöördlaua ava diameeter on tehase poolt töödeldud mõõdule 38.1 mm. Flantsi völli töödeldi 1 sajandik väiksem kui ava. Völli läbimõõdu kontrollimiseks kasutati tuhandik täpsusega mikromeetrit. Lisaks jälgiti, et pinna Ra, mis peab istuma avasse on madalam kui 3.2. Pinnakareduse kontrollimiseks kasutati tootja *Mitutoyo* mõõdikut. Lõikeinstrumentidest kasutati ettevõtete *Precitool*, *SCT*, *Iscar*, *Kennametal* ja *OCG* tooteid. Lõikeinstrumendid on välja toodud LISA's 2 oleval seadistuskaardil.

3.2 Abitarvik - treipadruni pakid

Pehmetel treipadruni pakkidel on mitmeid eeliseid karastatud pakkide ees. Nendega on võimalik igal korral detail asetada spindli tsentriga täpselt ühele joonele, paigutada toorik kindlale kaugusele ehk vastu pakkide tagumist seina, kinnitada erinevate diameetritega toorikuid ning saavutada täpsema klassiga lõpptulemus. Pehmed pakid võimaldavad säilitada täpsuse juba töödeldud pindadele. [8]

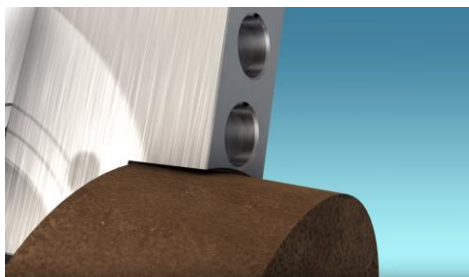
3.2.1 Korrektselt töödeldud pehmed pakid - kinnitamise põhialused

Esiteks tuleb valida mis materjali kasutada- alumiinium või teras. Alumiiniumist pakke kasutatakse üldjuhul kergemate ja pehmemate materjalide töötlemiseks või seest õõnsate detailide töötlemiseks(kui surve detailile on madal). Terasest kasutatakse kui surve on kõrgem ja eluiga peab olema pikem, näiteks kui tegemist on masstootmisega. Teiseks tuleb valida sobivas mõõtmed pakid (Joonis14.). [8]



Joonis 11. Erinevates mõõtmetes pehmed pakid.[14]

Valiku tegemisel on soovitatav, et toorik oleks kinnitatud 1/3 ulatuses pakkide vahele. Seega olenevalt tooriku pikkusest tuleb valida vastavad pakid. Laiemate valikul väheneb rõhk toorikule. Tõstes survet väänduvad pakkide servad (Joonis 12.). [8]



Joonis 12. Väändes pakk [8]

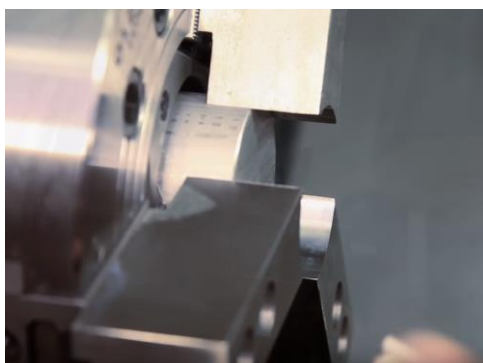
Väändes pakkidega töödeldes võib tekkida ülekoormus, mis omakorda kahjustab spindlit. Tuleb leida tasakaal tsentri kõrguse ja paki surve vahel. Viide selle leidmiseks on kasutada Spindli juhiste manuaali, kus on parameetrid välja toodud. [8]

Pakkide töötlemisel kindlale diameetrile, peavad olema nad tihedalt kinnitatud vastu objekti. Üks viisidest hoida kindlat positsiooni on kasutada reguleeritavat rõngast(joonis 13.).[8]



Joonis 13. Rõngas pehmete pakkide fikseerimiseks. [19]

Rõngal on kolm reguleeritavat tüüblit, mis paigutatakse avadesse. Surve lisamise järel haakuvad rõnga tüüblid pakkidega. Rõnga kasutamisel on lihtsam muuta pakkide hammaste asetust. Surve peaks jääma samaks mida kasutatakse hiljem detailide töötlemiseks. Rõnga kasutamisel võib maksimaalne surve olla 100bar ja maksimaalne pöörete arv minutis 900. Juhul, kui tooriku diameeter on suurem kui rõnga ava või hilisemal töötlusel kasutatakse suuremat paki survet, kui 100bar, siis tuleb kasutada silinder materjali fikseerimiseks. [8]



Joonis 14. Silinder toorik pakkide fikseerimiseks. [8]

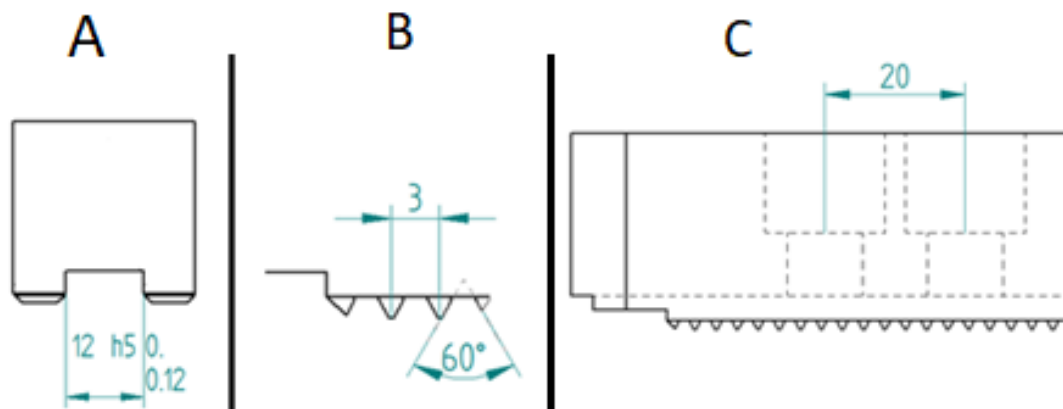
Silinder tooriku kasutamisel on eeliseks see, et saab kasutada täpselt sama survet mida soovitakse kasutada hiljem mingi konkreetse detaili töötlemisel. Silinder toorik paigutatakse spindli tsentriga ühele joonele 1/3 ulatuses pakkide paksusest(Joonis 14.). [8]

3.2.2 Pehmele treipakkide loomine

EMÜ TI on hetkel kasutusel ainult karastatud standardsed treipakid. Õppetöös on olnud juhtumeid, kus olemasolevate standard pakkidega pole olnud võimalik töödelda soovitud detaili või saavutada ettenähtud täpsusklassi. Probleemi lahendamiseks on lõputöö autor projekteerinud sobivad treipakid mida on võimalik kinnitada Haas ST-10 treipingi spindli külge. Antud treipakkide mudeli põhjal on ehitatud ülesse üks laboratoorne töö Tehnikainstituudi üliõpilastele - detaili programmeerimine CAM-keskkonnas kasutades pöördlauda. Eduka laboratoorse töö teostamise järel saavad üliõpilased kasutada valmis detaile mõnes muus laboratoorses töös mis on seotud treimisega.

Uute detailide loomisel võeti eeskuju juba olemasolevatest standardsetest karastatud treipakkidest. Projekteerimisel arvestati kolme olulise mõõtmega, mis ei tohtinud muutuda:

1. Soone laius (Joonis 15.-A);
2. Hammaste asend (Joonis 15.-B);
3. Avade omavaheline kaugus (Joonis 15.-C).

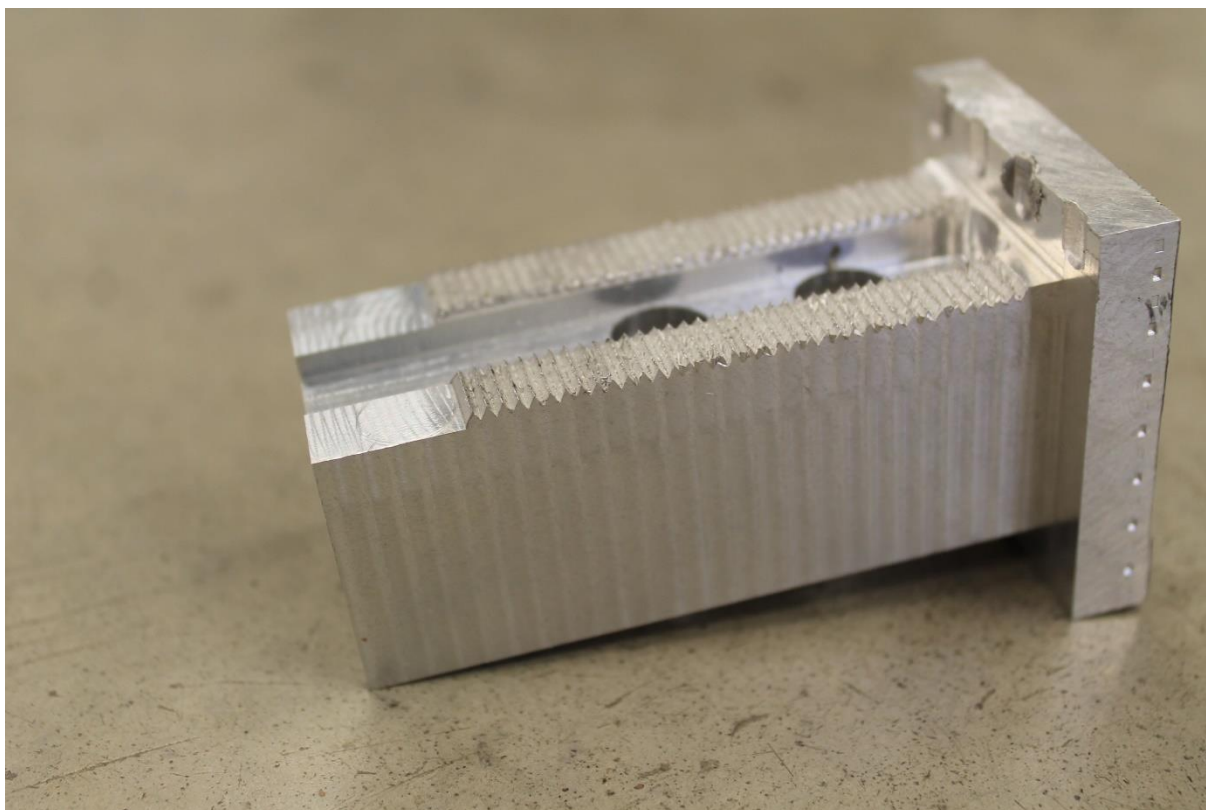


Joonis 15. A-Soone laius. B-Hammaste asend. C-Avade omavaheline kaugus.

Projekteerimiseks kasutati *SolidEdge* modelleerimise tarkvara ning CAM teostati *Autodesk*'i *Fusion360* tarkvara abil. Detaili tehniline joonis asub LISAS 1.

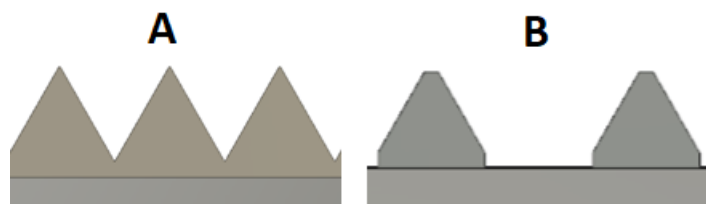
Suurimaks väljakutseks osutus hammaste pinnakvaliteedi saavutamine. Lõputöö autoril on varasem kokkupuude sarnaste detailide loomisega, kuid sellisel juhul on lõpp produkti saavutamiseks kasutatud 3-teljelist töötlus viisi, kolme seadistust ning hammaste lõikamiseks soone lõikeinstrumenti. Kogu protsess on sellisel viisil väga aega nõudev ning kokkuvõttes

kulukam. 3+1 töötlusviisi kasutades on võimalik sama detail valmistada 1-2 seadistusega, olenevalt millist lõpptulemust töö teostaja saavutada soovib. Hammaste töötlemiseks telliti ettevõtte *Precitool* 60° faasifrees. Pärast esimest töötlust selgus, et selliste parameetritega (spindli pöörlemis kiirus, ettenihke instrumendi hamba kohta) pole võimalik saavutada soovitud tulemust. Teisel korral vähendati ettenihke kiirust freesi hamba kohta ning lisati juurde üks lisa käik (Joonis 16.).



Joonis 16. Tulemus pärast parameetrite muutmist.

Pinnakvaliteet paranes nii palju, et pakke oli võimalik kinnitada treipadruni külge, kuid vajanuks järeltöötlust krasside eemaldamise näol. Probleemi lahendamiseks teostati muudatus mudelis. Otsustati muuta hammasta geometriat, mille tulemusel jääb faasifreesil vähem materjali eemaldada (Joonis 17.).



Joonis 17. Hammaste geometria A-Esialgne B-Pärast muudatust.

Pärast muudatuste tegemist valmistati uus programm koos seadekaardiga(Lisa 2) ning joonisega mis on välja toodud LISAS 1. Töötuse lõppedes oli saavutatud soovitud lõpptulemus(Joonis 18.). Pakk istus ideaalselt treipadrundi spindlisse ning visuaalne välimus oli vastuvõetav.



Joonis 18. Tulemus pärast hammaste geomeetria muutmist.

Lisaks vähenes ka töötusaeg. Tulemuse põhjal võib eeldada, et tänu teostatud muudatustele on hammaste töötuseks kasutatava faasi freesi eluiga pikem.

3.2.3 Pehmele treipakkide katsetamine treippingis

Tehnikainstituudil puudub praegusel hetkel peatükis 3.2.1 kirjeldatud rõngas, mis tõttu kasutati pakkide fikseerimiseks alumiiniumist silinder keha(Joonis 19.), millele rakendati 150°ne baarine surve. Pakkidesse töödeldi aste millega on võimalik kinnitada 25 millimeetrise diameetriga materjali.



Joonis 19. Pehmele pakkide katsetamine.

Pärast töötamise lõppu oli saavutatud soovitud tulemus ning võimaldas töödelda silindrilisi 25mm läbimõõduga materjale. Pakkide töötlemiseks kasutatud programm on välja toodud Lisas3.

3.3 Laboratoorsed tööd

Lõputöö autori poolt on koostatud laboratoorsete tööde kogumik, mis sisaldab viite juhendit ning kuute abistavat videot. Kogumikus olevatest juhenditest kaks esimest tuleb teostada EMU

TI eksperimentaal laboris kasutades CNC freespinkki ning pöördlauda. Kolm järele jäänud juhendit käsitlevad CAM tarkvara kasutamist ning sisaldavad ülesande sooritamist peale materjaliga tutvumist. Juhendid on mõeldud kasutamiseks edasijõudnud üliõpilastele, kellel on olemas varasem kokkupuude töötluskeskustega töötamisel.

3.3.1 Pöördlaua paigaldamise juhend

Pöördlaud annab võimaluse töödelda kruvisooni, silindrilisel või koonilisel pinnal paiknevaid juhtsooni, tihendisooni ja töödelda detail vähemate operatsioonidega ning saavutada täpsemas mõõdustikus lõpp produkt. Juhendi eesmärgiks on paigaldada EMÜ TI Haas *MiniMill* freespinkki pöördlaud *HRT160* (Joonis 20.).

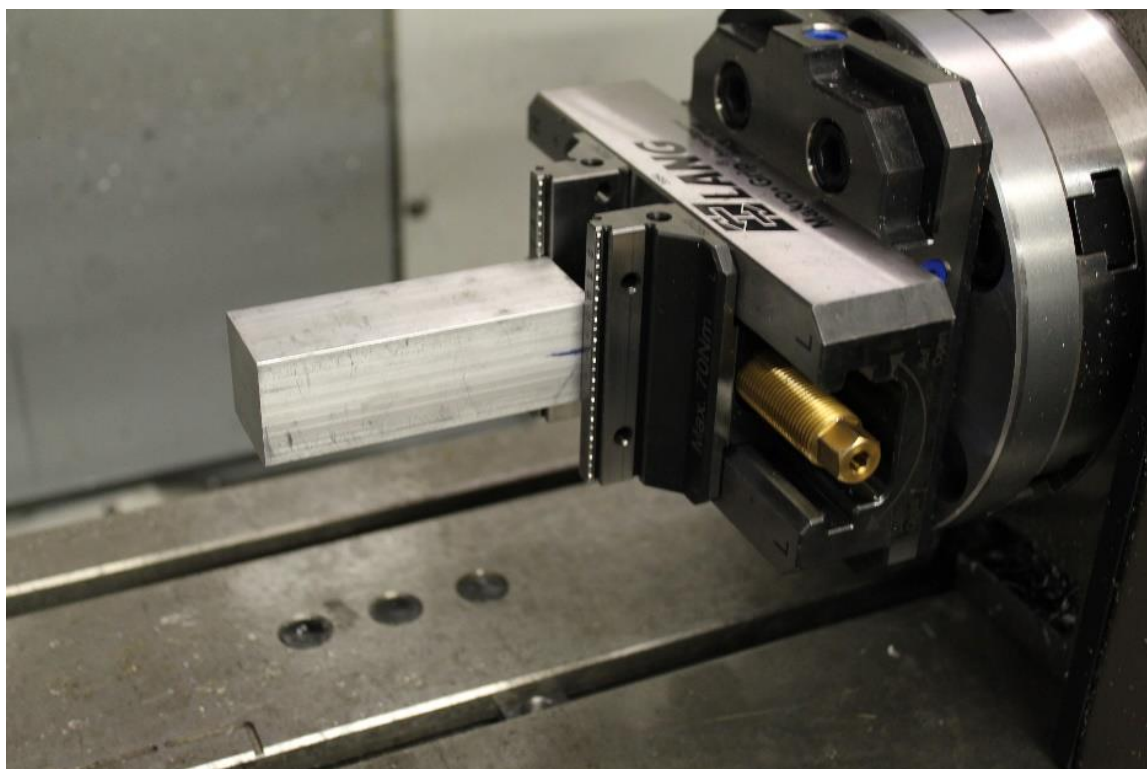


Joonis 20. Pöördlaud *HRT160*.

Lisas 4. olevas juhendis on punkt-punkti põhjal välja kirjutatud sammud kuidas paigaldada pöördlaud frees töötlemiskeskusesse ning pingi taas käivitamisel hoida ohutus.

3.3.2 Pöördlauale töö seadistamise juhend

Detaili valmise üheks etapiks on töötluskeskuse seadistamine koos vajalike seadmete ja tööriistadega. Korrektne seadistamine tagab kvaliteetse lõpp produkti. Eesmärkiks on seadistada freespinki töö, kus kasutatakse 3+1 töötlusviisi ning töödeldakse nelikant profiili.



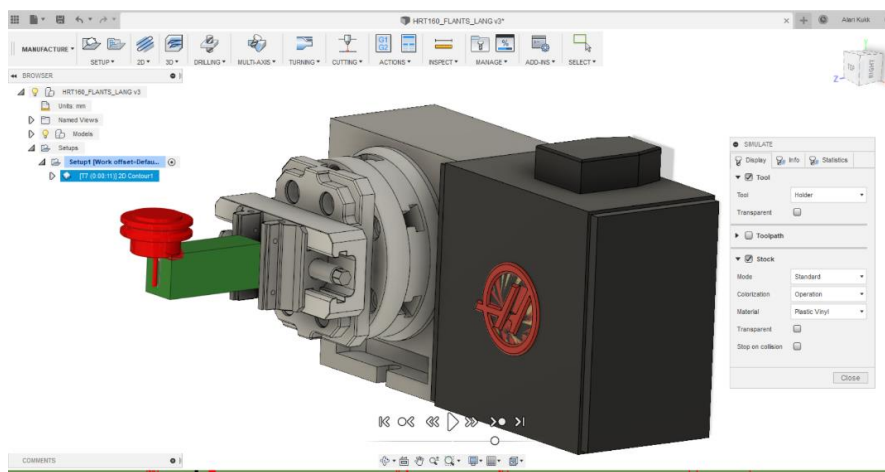
Joonis 21. Seadistaud freespinki, nelikant profiili töötlemiseks.

Lisas 5. asuvas juhendis on välja kirjutatud punktid koos illustratsioonidega, mis tuleb täita, et töötluste lõppedes saavutada ettenähtud mõõdmed.

3.3.3 Interaktiivse lõikeinstrumendi kataloogi loomise juhend

Korrektsesti koostatud lõikeinstrumendi kataloogi olemas olul on lihtsam hallata olemas olevaid lõikeinstrumente, kontrollida nende sobivust ning kasutamise võimalust konkreetse töö

teostamiseks, võimaldab simuleerimisel näha ette kokkupõrkeid tooriku või rakisega (Joonis22.).



Joonis 22. Kokkupõrge lõikeinstrumendi hoidiku ja tooriku vahel.

Lõikeinstrumendi kataloogi koostamise juhend asub Lisas 6. Juhend koosneb kahest peatükist, millest esimese antakse ülevaade kuidas luua soovitud lõikeinstrument ning teises kuidas luua lõikeinstrumendi hoidik. Mõlema peatüki lõpus on praktiline ülesanne ning mille lahendamiseks on valmistatud abistavad videod.

3.3.4 Protessori modifitseerimine - kohandatud tööriista vahetuse juhend

Paigaldades *Haas MiniMill* freespinki pöördlaua koos tsentripukiga on üpriski tõenäoline, et pingis pole enam võimalik teostada lõikeinstrumendi vahetust ilma kokkupõrket tsentripukki, tooriku või pöördlauaga. Antud probleemi lahendamiseks tuleb töölaud juhtida punkti, kus on võimalik teostada ohutu lõikeinstrumendi vahetus(Joonis 23.).

N9 X-200. Y-150.
N10
N11 (KONTUUR)
N12 T5 M6

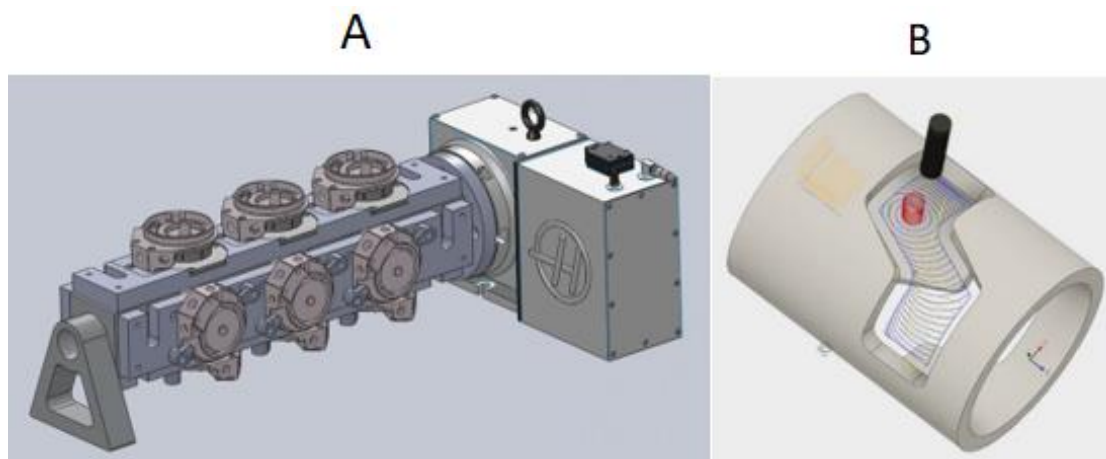
Joonis 23. Liikumine enne lõikeinstrumendi vahetust.

Töölauda juhtimiseks on võimalik manuaalselt liigutada tööala kindlasse punkti enne lõikeinstrumendi vahetust. Selline lahendus pikemas perspektiivis on aega nõudev. Probleemi

lahendamiseks on võimalik modifitseerida post protsessorit, mille tulemusena töölaud liigub enne igat lõikeinstrumendi vahetust ohutusse punkti. Lisas 7. on modifikatsiooni tegemiseks koostatud juhend koos videoga, mis näitab samm-sammult kuidas luua sellise lahendusega post protsessor.

3.3.5 Fusion 360 - pöördlaua kasutamise juhend

Fusion 360 Manufactor keskkonnas on võimalik kasutada pöördlauda indekseerivalt ning pidevalt liikuva teljena. Antud võimalustega tutvumiseks on koostatud juhend, mis asub Lisas 8. Juhend koosneb kahest peatükist: 1.Indekseeriv (Joonis24.-A), 2. *Wrapping*-pidev töötlus (Joonis24.-B).



Joonis 24. A-Indekseeriv. B-*Wrapping*-pidev töötlus.

Mõlema peatüki lõpus on ülesanne, mille täitmisel praktiseeritakse antud võimaluse kasutamist. Ülesannete lahendamiseks on valmistatud abistavad videod.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli tutvuda Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi CNC laboris oleva õppeeksperimentaal APJ freespingi lisaseadmega ning arendada pöördlaua põhjal laboratoorsete tööde kogumik, mis sisaldab kaasaegset CAM-süsteemide tundmaõppimist, töötlemiskeskuse üles seadistamist ja on seotud erinevate tootmis valdkondadega. Eesmärgini jõudmiseks omandati põhiteadmised pöördlaua *HRT160* olemusest, tehnoloogilistest võimalustest ja töötamisest. Loodi CNC laboris puuduolevad abitarvikud ning laboratoorsete tööde kogumik.

Teoreetilises osas on kirjeldatud arvprogrammjuhtimise põhitõed, antud ülevaade 3+1 töötlemisest frees töötlemiskeskuses ning EMÜ TI olemasolevast freespingist ja selle lisaseadmest. Ettevalmistavas osas on kirjeldatud probleeme, mida antud töö raames hakatakse lahendama. Lõputöö lõppeb abitarvikute ja laboratoorsete tööde kogumiku loomisega.

Töö tegemise ajal selgus, et täisväärtusliku laboratoorsete tööde kogumiku teostamiseks pole olemas kõiki vajaminevaid vahendeid. Loodi uued abitarvikud, esiteks flants - mille abil on võimalik kinnitada kruustange pöördlauale ning pehme treipakk mille põhjal arendati üks laboratoorne töö kogumikku.

Lõputöö autori poolt on koostatud laboratoorsete tööde kogumik, mis sisaldab viite juhendit ning kuute abistavat videot. Kogumikus olevatest juhenditest kaks esimest tuleb teostada EMÜ TI eksperimentaal CNC laboris kasutades APJ freespinkide ning pöördlaua. Kolm järele jäänud juhendit käsitlevad CAM tarkvara kasutamist ning sisaldavad ülesande sooritamist peale materjaliga tutvumist. Esimese juhendi ülesandeks on paigaldada *Haas MiniMill* freespinkide pöördlaud *HRT160*. Teise juhendi ülesandeks on seadistada freespinkide töö, kus kasutatakse 3+1 töötlusviisi ning töödeldakse nelikant profiili. Kolmandaks on interaktiivse tööriista kataloogi juhend, mille abil on lihtsam hallata olemas olevaid tööriistu, kontrollida tööriistade sobivust ning kasutamise võimalust konkreetse töö teostamiseks. Juhend koosneb kahest peatükist, millest esimeses antakse ülevaade, kuidas luua soovitud tööriist ning teises kuidas luua tööriista hoidik. Mõlema peatüki lõpus on praktiline ülesanne, ning nende lahendamiseks on valmistatud abistavad videod. Neljas juhend keskendub post protsessori modifitseerimisele, mille

tulemusena liigub töölaud ohutusse punkti enne lõikeinstrumendi vahetus, lahendamiseks on loodud abistavad videod. Viimane juhend annab ülevaate *Fusion 360 Manufactor* keskkonnas pöördlaua kasutamise võimalustest. Juhend koosneb kahest peatükist ning mõlema lõpus on ülesanne, mille täitmisel praktiseeritakse omandatud teadmisi freespingiga töötamisel. Ülesannete lahendamiseks on loodud abistavad videod.

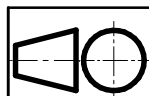
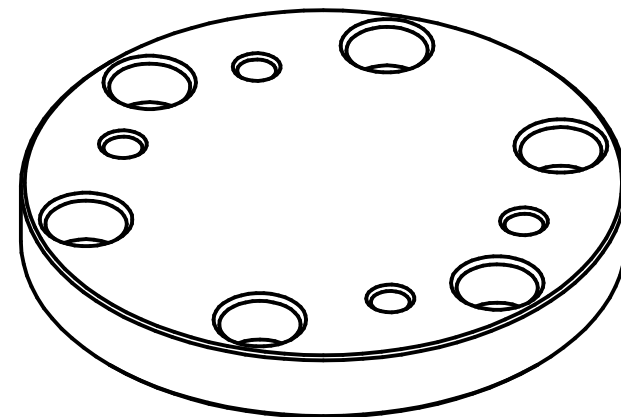
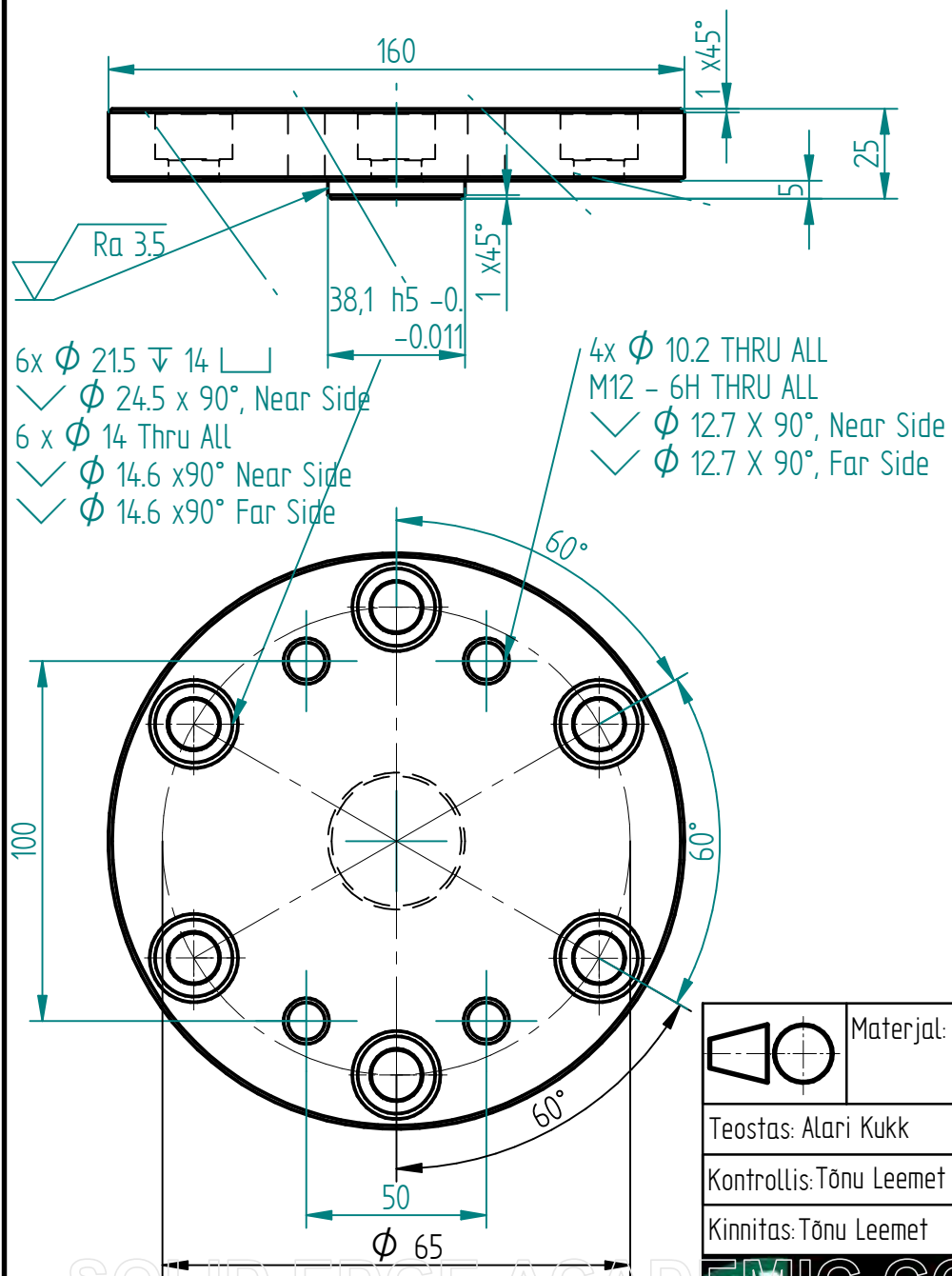
Töö tulemisena valmis õppevahend, kasutamiseks tootmistehnika alases kõrghariduses Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudis ning Tartu Tehnikakolledžis.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Estonica. Entsüklopeedia Eestist. [veebileht]
http://www.estonica.org/et/Majandus/Eesti_majandusest_%C3%BCldiselt/T%C3%B6%C3%B6lev_t%C3%B6%C3%B6stus/ (11.12.2018)
2. **Veski, V.** (2006). Arvuhtimisega seadmete programmeerimine. Tallinn: Tallinna tööstushariduskeskus. 72lk.
3. **Allas, J.** (2015). Arvuhtimisega tööpingid. Loengukonspekt. Tartu: Eesti Maaülikool. 89lk.
4. **Põldmaa, V.** (2008) Arvprogrammjuhtimisega pingid ja nende programmeerimine. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. 27lk.
5. In-House Solutions. (2015) Mastercam x⁹ Handbook. Volume 1. Microsoft Corporation.
6. **Smid, P.** (2008). CNC Programming Handbook. Third Edition. Industrial press Inc. 989 Avenue of the Americas New York, NY 10018. 600lk.
7. Haas Automation, Inc. (2009) Mill Operator's Manual. 2800 Sturgis Road, Oxnard, CA 93030. 264lk.
8. Haas automation, Inc – CNC Machine Tools. [veebileht] <https://www.haascnc.com/index.html> (02.02.2019)
9. Haas Automation. [veebileht]
<http://www.haas.co.uk/smm-specs.html> (02.02.2019) [veebileht]
11. **Pakk, V.** (2014) Masinaehitustehnoloogia. Tehnikainstituut. Põllundus- ja tootmistehnika. 44lk.
12. **Kulu, P. Kübarsepp, J. Hendre, E. Metusala, T. Tapupere, O.** (2001) Materjalid. Tallinn. Kättesaadav: <http://www.ene.ttu.ee/leonardo/materjalid/Materjalid.pdf>
13. **D.Rozumek, Z.Marciniak, G, Lesiuk, J,A,F,O,Correia.** (2017) Mixed mode I/II/III fatigue crack growth in S355 steel. *Procedia Structural Integrity*. Vol. 5, pp. 896-903.
14. **Mondolfo, L. F.** (1976) Aluminum Alloys: Structure and Properties. London: William Clowes and Sons Limited Beccles and London.
15. Lang Technovation Co. [veebileht]
<http://www.lang-technovation.com/en/products/5-axis-vise-77.html> (22.02.2019)
16. Chandox Precision Industrial Co. [veebileht]
<http://www.chandox.com/eng/parts-accessories.html> (22.02.2019)
17. Kitagawa Corporation. [veebileht]
<https://www.kitagawa.com/en/mttools/csd/> (22.02.2019)
18. Light Tool Supply. [veebileht]
<http://www.lighttoolsupply.com/catalog/Category/Machine-Tools/Chuck-Jaws/JAW-BORING-RING?productID=345614&categoryID=283> (12.03.2019)

LISAD

Lisa 1. Joonised



Materjal: S355

Näitamata piirhälbed:
ISO 2768: m,K

Mass:
2.8 kg

Moot:
1:2

Teostas: Alari Kukk

Kontrollis: Tõnu Leemet

Kinnitas: Tõnu Leemet

Nimetus:

Pöördlaua flants

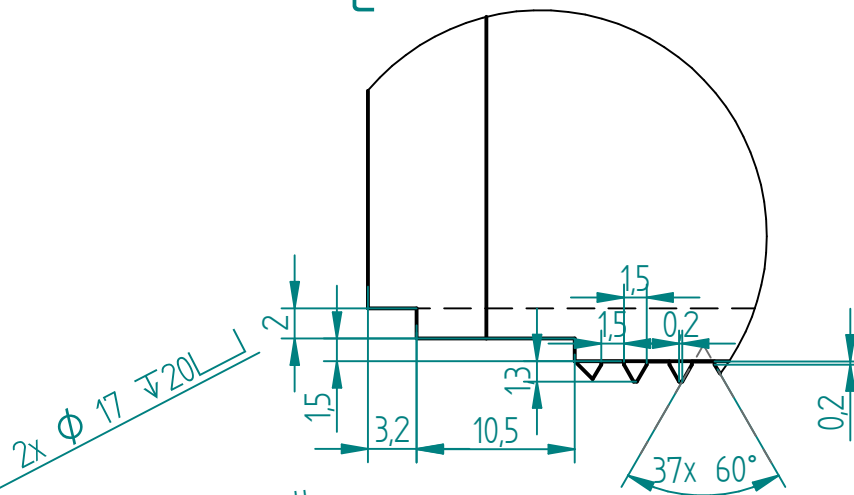
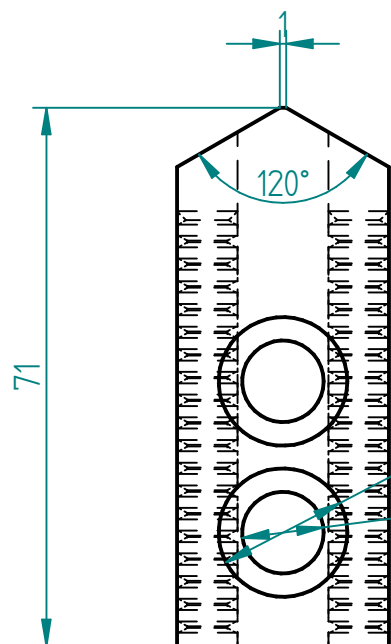
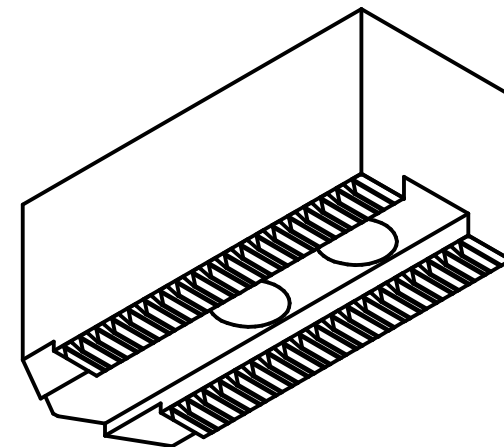
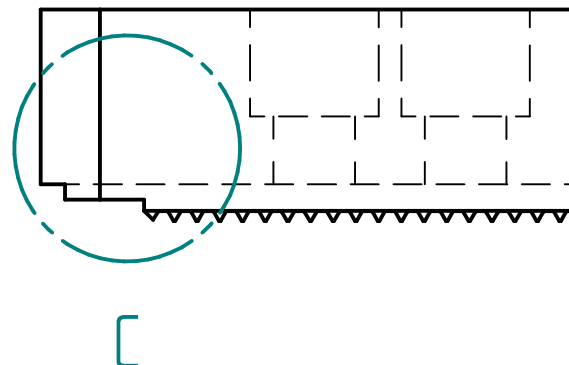
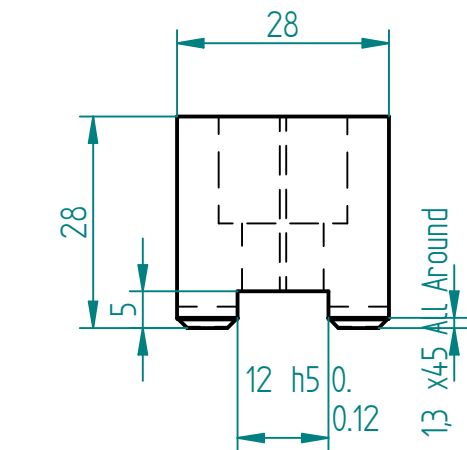
Leht:
1

Tähis:

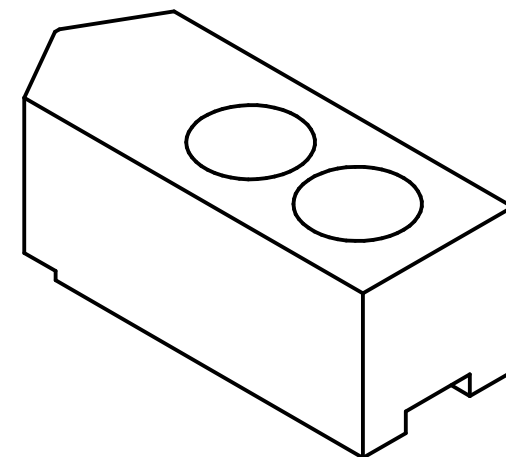
SOLID EDGE ACAD

EMIC COPY

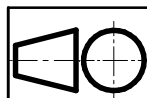
EMU Eesti Maaülikool
Tehnikainstituut



DETAIL C



Use step fail for manufacture
Remove sharp edges



Materjal: Alumiinium

Näitamata piirhälbed:
ISO 2768: m,K

Mass:
0.14 kg

Moot:
1:2

Teostas: Alari Kukk

Kontrollis: Tõnu Leemet

Kinnitas: Tõnu Leemet

Nimetus:

ST-10 Pehme pakk

Leht:
1

Tähis:



Lisa 2. Seadekaardid

Setup Sheet for Program 012345

JOB DESCRIPTION: Seadistus nr.1

DOCUMENT PATH: Flants Lõputöö 2019 (v~recovered)

Setup

WCS: #1

STOCK:

DX: 180mm

DY: 180mm

DZ: 40mm

PART:

DX: 160mm

DY: 160mm

DZ: 25mm

STOCK LOWER IN WCS #1:

X: -90mm

Y: -90mm

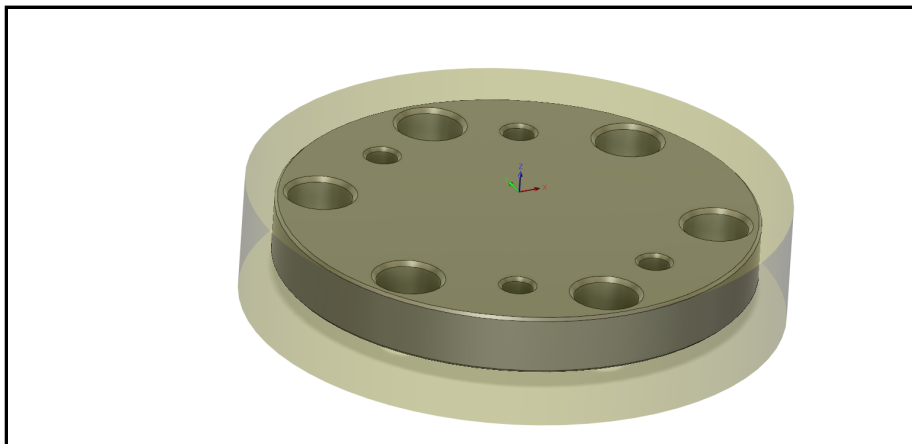
Z: -40mm

STOCK UPPER IN WCS #1:

X: 90mm

Y: 90mm

Z: 0mm



Total

NUMBER OF OPERATIONS: 9

NUMBER OF TOOLS: 7

TOOLS: T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8

MAXIMUM Z: 15mm

MINIMUM Z: -34.8mm

MAXIMUM FEEDRATE: 1700mm/min

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm

CUTTING DISTANCE: 17645.28mm

RAPID DISTANCE: 4582.22mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 17m:13s

Tools

T2 D2 L2

TYPE: face mill

DIAMETER: 50mm

LENGTH: 40mm

FLUTES: 5

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: Kennametal

PRODUCT: [D050A05R](#)

MINIMUM Z: -6mm

MAXIMUM FEED: 1600mm/min

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1600rpm

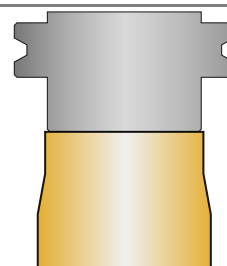
CUTTING DISTANCE: 8246.35mm

RAPID DISTANCE: 993.78mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 6m:34s (38.2%)

HOLDER: CT40 - Blank2

VENDOR: Lyndex



T3 D3 L3

TYPE: drill

DIAMETER: 14mm

LENGTH: 60mm

FLUTES: 1

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: Iscar

PRODUCT: [ICP 140](#)

MINIMUM Z: -29.5mm

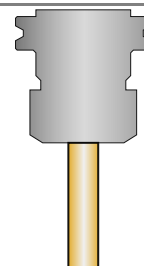
MAXIMUM FEED: 579.779mm/min

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3410rpm

CUTTING DISTANCE: 171mm

RAPID DISTANCE: 588mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 25s (2.4%)

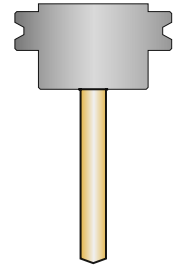


T4 D4 L4

TYPE: drill
 DIAMETER: 10.3mm
 TIP ANGLE: 140°
 LENGTH: 71mm
 FLUTES: 1
 DESCRIPTION: P,M,K,N
 VENDOR: PRECITOOL
 PRODUCT: [102657](#)

MINIMUM Z: -34.8mm
 MAXIMUM FEED: 396.561mm/min
 MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3410rpm
 CUTTING DISTANCE: 135.2mm
 RAPID DISTANCE: 403.2mm
 ESTIMATED CYCLE TIME: 25s (2.4%)

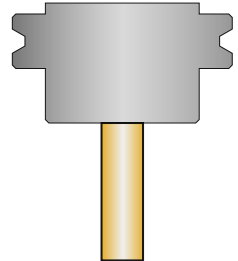
HOLDER: CT40 - Blank2
 VENDOR: Lyndex

**T5 D5 L5**

TYPE: flat end mill
 DIAMETER: 12mm
 LENGTH: 40mm
 FLUTES: 4
 DESCRIPTION: P,M,K
 VENDOR: SCT
 PRODUCT: [BLC4L12038VN](#)

MINIMUM Z: -32mm
 MAXIMUM FEED: 1700mm/min
 MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm
 CUTTING DISTANCE: 6364.88mm
 RAPID DISTANCE: 635.12mm
 ESTIMATED CYCLE TIME: 3m:52s (22.5%)

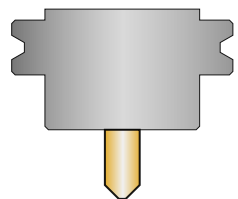
HOLDER: CT40 - Blank2
 VENDOR: Lyndex

**T6 D6 L6**

TYPE: spot drill
 DIAMETER: 10mm
 TIP ANGLE: 90°
 LENGTH: 20mm
 FLUTES: 4
 DESCRIPTION: P,M,K
 VENDOR: SCT
 PRODUCT: [BLC4L100A90](#)

MINIMUM Z: -20.9mm
 MAXIMUM FEED: 916.732mm/min
 MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm
 CUTTING DISTANCE: 1572.07mm
 RAPID DISTANCE: 1146.17mm
 ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:57s (11.3%)

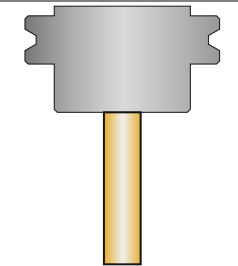
HOLDER: CT40 - Blank2
 VENDOR: Lyndex

**T7 D7 L7**

TYPE: flat end mill
 DIAMETER: 12mm
 LENGTH: 50mm
 FLUTES: 6
 DESCRIPTION: P,M,K
 VENDOR: SCT
 PRODUCT: [PLSC6X12050S](#)

MINIMUM Z: -25.9mm
 MAXIMUM FEED: 1000mm/min
 MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm
 CUTTING DISTANCE: 910.99mm
 RAPID DISTANCE: 538.35mm
 ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:8s (6.6%)

HOLDER: CT40 - Blank2
 VENDOR: Lyndex

**T8 D8 L8**

TYPE: right hand tap
 DIAMETER: 12mm
 LENGTH: 40mm
 FLUTES: 2
 DESCRIPTION: P,M
 VENDOR: OSG
 PRODUCT: [16450](#)

MINIMUM Z: -32.8mm
 MAXIMUM FEED: 232.101mm/min
 MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm
 CUTTING DISTANCE: 244.8mm
 RAPID DISTANCE: 277.6mm
 ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:7s (6.4%)



Operations

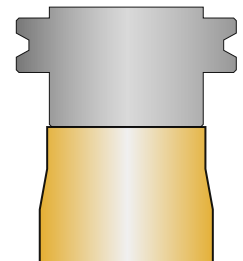
Operation 1/9

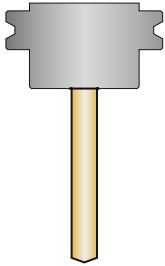
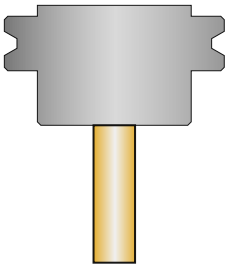
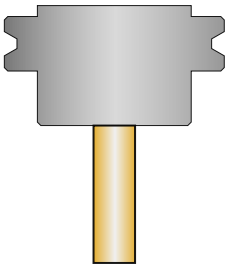
DESCRIPTION: Pealmine pind puhtaks
 STRATEGY: Facing
 WCS: #1
 TOLERANCE: 0.01mm
 MAXIMUM STEPDOWN: 1mm
 MAXIMUM STEPOVER: 47.5mm

MAXIMUM Z: 15mm
 MINIMUM Z: -6mm
 MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1600rpm
 MAXIMUM FEEDRATE: 1600mm/min
 CUTTING DISTANCE: 8246.35mm
 RAPID DISTANCE: 993.78mm
 ESTIMATED CYCLE TIME: 6m:34s (38.2%)
 COOLANT: Through tool

T2 D2 L2

TYPE: face mill
 DIAMETER: 50mm
 LENGTH: 40mm
 FLUTES: 5
 DESCRIPTION: P,M,K
 VENDOR: Kennametal
 PRODUCT: [D050A05R](#)



Operation 2/9 DESCRIPTION: Avad D14 STRATEGY: Drilling WCS: #1 TOLERANCE: 0.01mm	MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -29.5mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3410rpm MAXIMUM FEEDRATE: 579.779mm/min CUTTING DISTANCE: 171mm RAPID DISTANCE: 588mm ESTIMATED CYCLE TIME: 25s (2.4%) COOLANT: Through tool	T3 D3 L3 TYPE: drill DIAMETER: 14mm LENGTH: 60mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: P,M,K VENDOR: Iscar PRODUCT: ICP 140	
Operation 3/9 DESCRIPTION: Ava D10.2- M12 ette STRATEGY: Drilling WCS: #1 TOLERANCE: 0.01mm	MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -34.8mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3050rpm MAXIMUM FEEDRATE: 396.561mm/min CUTTING DISTANCE: 135.2mm RAPID DISTANCE: 403.2mm ESTIMATED CYCLE TIME: 25s (2.4%) COOLANT: Through tool	T4 D4 L4 TYPE: drill DIAMETER: 10.3mm TIP ANGLE: 140° LENGTH: 71mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: P,M,K,N VENDOR: PRECITOOL PRODUCT: 102657	
Operation 4/9 DESCRIPTION: Ümber kooriv STRATEGY: Adaptive 2D WCS: #1 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0.5mm/0mm MAXIMUM STEPDOWN: 16mm OPTIMAL LOAD: 2mm LOAD DEVIATION: 0.2mm	MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -32mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1700mm/min CUTTING DISTANCE: 5680.05mm RAPID DISTANCE: 146.05mm ESTIMATED CYCLE TIME: 3m:22s (19.6%) COOLANT: Flood	T5 D5 L5 TYPE: flat end mill DIAMETER: 12mm LENGTH: 40mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: P,M,K VENDOR: SCT PRODUCT: BLC4L12038VN	
Operation 5/9 DESCRIPTION: Tasku D21.5 kooriv STRATEGY: Pocket 2D WCS: #1 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0.2mm/0mm MAXIMUM STEPOVER: 1mm	MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -20mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1700mm/min CUTTING DISTANCE: 684.83mm RAPID DISTANCE: 489.08mm ESTIMATED CYCLE TIME: 30s (2.9%) COOLANT: Flood	T5 D5 L5 TYPE: flat end mill DIAMETER: 12mm LENGTH: 40mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: P,M,K VENDOR: SCT PRODUCT: BLC4L12038VN	
Operation 6/9 DESCRIPTION: Faasid STRATEGY: Contour 2D WCS: #1 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 9.5mm	MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -20.9mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2865rpm MAXIMUM FEEDRATE: 916.732mm/min CUTTING DISTANCE: 1572.07mm RAPID DISTANCE: 1146.17mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:57s (11.3%) COOLANT: Flood	T6 D6 L6 TYPE: spot drill DIAMETER: 10mm TIP ANGLE: 90° LENGTH: 20mm FLUTES: 4 DESCRIPTION: P,M,K VENDOR: SCT PRODUCT: BLC4L100A90	
Operation 7/9 DESCRIPTION: Ümber puhas STRATEGY: Contour 2D WCS: #1 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 11.4mm COMPENSATION: wear (left) SAFE TOOL DIAMETER: < 12mm	MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -25.9mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3183rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 628.98mm RAPID DISTANCE: 49.7mm ESTIMATED CYCLE TIME: 42s (4.1%) COOLANT: Flood	T7 D7 L7 TYPE: flat end mill DIAMETER: 12mm LENGTH: 50mm FLUTES: 6 DESCRIPTION: P,M,K VENDOR: SCT PRODUCT: PLSC6X12050S	

Operation 8/9

DESCRIPTION: Tasku D21.5 puhas

STRATEGY: Contour 2D

WCS: #1

TOLERANCE: 0.01mm

STOCK TO LEAVE: 0mm

MAXIMUM STEPOVER: 11.4mm

COMPENSATION: wear (left)

SAFE TOOL DIAMETER: < 12mm

MAXIMUM Z: 15mm

MINIMUM Z: -20mm

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3183rpm

MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min

CUTTING DISTANCE: 282.01mm

RAPID DISTANCE: 488.65mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 26s (2.5%)

COOLANT: Flood

T7 D7 L7

TYPE: flat end mill

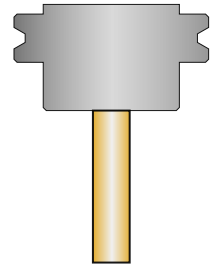
DIAMETER: 12mm

LENGTH: 50mm

FLUTES: 6

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: SCT

PRODUCT: [PLSC6X12050S](#)

Operation 9/9

DESCRIPTION: Keere M12

STRATEGY: Drilling

WCS: #1

TOLERANCE: 0.01mm

MAXIMUM Z: 15mm

MINIMUM Z: -32.8mm

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 133rpm

MAXIMUM FEEDRATE: 232.101mm/min

CUTTING DISTANCE: 244.8mm

RAPID DISTANCE: 277.6mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:7s (6.4%)

COOLANT: Flood

T8 D8 L8

TYPE: right hand tap

DIAMETER: 12mm

LENGTH: 40mm

FLUTES: 2

DESCRIPTION: P,M

VENDOR: OSG

PRODUCT: [16450](#)Generated by [Fusion 360 CAM 2.0.5357](#) Sunday, March 17, 2019 11:47:38

Setup Sheet for Program 12345

JOB DESCRIPTION: Seadistus nr.2
DOCUMENT PATH: Flants Lõputöö 2019 (v~recovered)

Setup

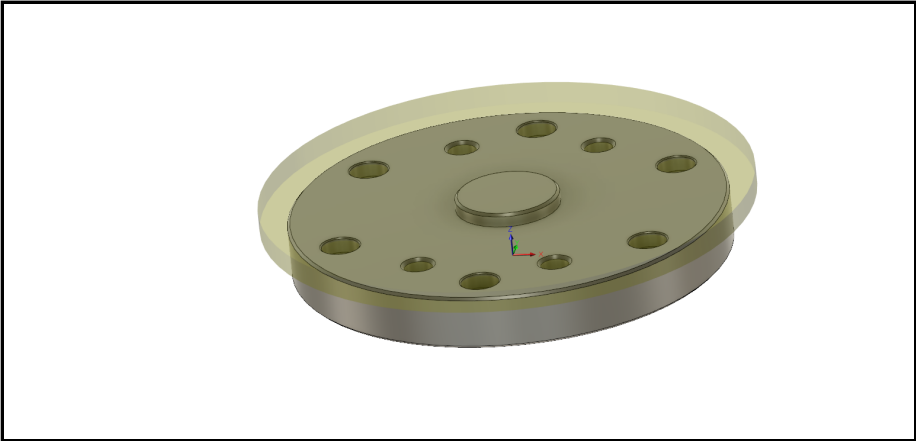
WCS: #2

Stock:
DX: 180mm
DY: 180mm
DZ: 8mm

Part:
DX: 160mm
DY: 160mm
DZ: 25mm

Stock Lower in WCS #2:
X: -90mm
Y: -90mm
Z: 19mm

Stock Upper in WCS #2:
X: 90mm
Y: 90mm
Z: 27mm



Total

Number of Operations: 4
Number of Tools: 4
Tools: T2 T5 T6 T7
Maximum Z: 42mm
Minimum Z: 18.4mm
Maximum Feedrate: 1700mm/min
Maximum Spindle Speed: 5300rpm
Cutting Distance: 11830.19mm
Rapid Distance: 240.01mm
Estimated Cycle Time: 8m:48s

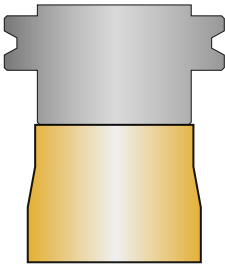
Tools

T2 D2 L2

Type: face mill
Diameter: 50mm
Length: 40mm
Flutes: 5
Description: P,M,K
Vendor: Kennametal
Product: [D050A05R](#)

Minimum Z: 25mm
Maximum Feed: 1600mm/min
Maximum Spindle Speed: 1600rpm
Cutting Distance: 259.51mm
Rapid Distance: 22mm
Estimated Cycle Time: 10s (1.9%)

Holder: CT40 - Blank2
Vendor: Lyndex

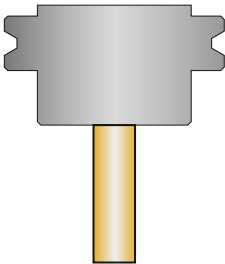


T5 D5 L5

Type: flat end mill
Diameter: 12mm
Length: 40mm
Flutes: 4
Description: P,M,K
Vendor: SCT
Product: [BLC4L12038VN](#)

Minimum Z: 20mm
Maximum Feed: 1700mm/min
Maximum Spindle Speed: 5300rpm
Cutting Distance: 10021.88mm
Rapid Distance: 40.4mm
Estimated Cycle Time: 5m:54s (67.1%)

Holder: CT40 - Blank2
Vendor: Lyndex



file:///C:/Users/alari/Desktop/Flants%20L%C3%B5put%C3%B6%C3%B6%202019%20(v~recovered).html

1/2

T6 D6 L6

TYPE: spot drill

DIAMETER: 10mm

TIP ANGLE: 90°

LENGTH: 20mm

FLUTES: 4

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: SCT

PRODUCT: [BLC4L100A90](#)

MINIMUM Z: 18.4mm

MAXIMUM FEED: 916.732mm/min

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm

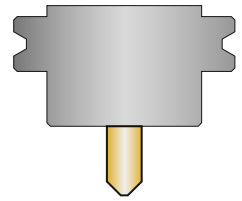
CUTTING DISTANCE: 1321.68mm

RAPID DISTANCE: 146.81mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:28s (16.7%)

HOLDER: CT40 - Blank2

VENDOR: Lyndex

**T7 D7 L7**

TYPE: flat end mill

DIAMETER: 12mm

LENGTH: 50mm

FLUTES: 6

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: SCT

PRODUCT: [PLSC6X12050S](#)

MINIMUM Z: 20mm

MAXIMUM FEED: 1000mm/min

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm

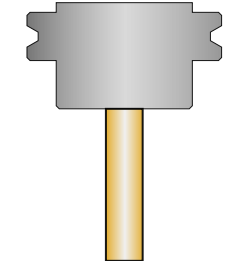
CUTTING DISTANCE: 227.12mm

RAPID DISTANCE: 30.8mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 16s (2.9%)

HOLDER: CT40 - Blank2

VENDOR: Lyndex

**Operations****Operation 1/4**

DESCRIPTION: Ümber völli kooriv

STRATEGY: Adaptive 2D

WCS: #2

TOLERANCE: 0.1mm

STOCK TO LEAVE: 0.5mm/0mm

OPTIMAL LOAD: 2.5mm

LOAD DEVIATION: 0.25mm

MAXIMUM Z: 42mm

MINIMUM Z: 20mm

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5300rpm

MAXIMUM FEEDRATE: 1700mm/min

CUTTING DISTANCE: 10021.88mm

RAPID DISTANCE: 40.4mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 5m:54s (67.1%)

COOLANT: Flood

T5 D5 L5

TYPE: flat end mill

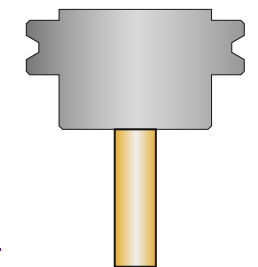
DIAMETER: 12mm

LENGTH: 40mm

FLUTES: 4

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: SCT

PRODUCT: [BLC4L12038VN](#)**Operation 2/4**

DESCRIPTION: Paksusesse

STRATEGY: Facing

WCS: #2

TOLERANCE: 0.01mm

MAXIMUM STEPDOWN: 1mm

MAXIMUM STEPOVER: 47.5mm

MAXIMUM Z: 42mm

MINIMUM Z: 25mm

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1600rpm

MAXIMUM FEEDRATE: 1600mm/min

CUTTING DISTANCE: 259.51mm

RAPID DISTANCE: 22mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 10s (1.9%)

COOLANT: Through tool

T2 D2 L2

TYPE: face mill

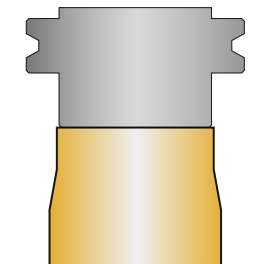
DIAMETER: 50mm

LENGTH: 40mm

FLUTES: 5

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: Kennametal

PRODUCT: [D050A05R](#)**Operation 3/4**

DESCRIPTION: Faasid

STRATEGY: Contour 2D

WCS: #2

TOLERANCE: 0.01mm

STOCK TO LEAVE: 0mm

MAXIMUM STEPOVER: 9.5mm

MAXIMUM Z: 42mm

MINIMUM Z: 18.4mm

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2865rpm

MAXIMUM FEEDRATE: 916.732mm/min

CUTTING DISTANCE: 1321.68mm

RAPID DISTANCE: 146.81mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:28s (16.7%)

COOLANT: Flood

T6 D6 L6

TYPE: spot drill

DIAMETER: 10mm

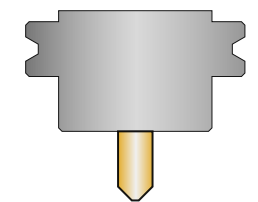
TIP ANGLE: 90°

LENGTH: 20mm

FLUTES: 4

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: SCT

PRODUCT: [BLC4L100A90](#)**Operation 4/4**

DESCRIPTION: Völl puhas

STRATEGY: Contour 2D

WCS: #2

TOLERANCE: 0.01mm

STOCK TO LEAVE: 0mm

MAXIMUM STEPOVER: 11.4mm

COMPENSATION: wear (left)

SAFE TOOL DIAMETER: < 12mm

MAXIMUM Z: 42mm

MINIMUM Z: 20mm

MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3183rpm

MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min

CUTTING DISTANCE: 227.12mm

RAPID DISTANCE: 30.8mm

ESTIMATED CYCLE TIME: 16s (2.9%)

COOLANT: Flood

T7 D7 L7

TYPE: flat end mill

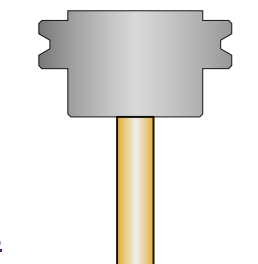
DIAMETER: 12mm

LENGTH: 50mm

FLUTES: 6

DESCRIPTION: P,M,K

VENDOR: SCT

PRODUCT: [PLSC6X12050S](#)

Lisa 3. Pehmeete pakkide treimine

%	/ G96 S350
O00530 (PEHMETE PAKKIDE	
TOOTLEMINE)	G70 P1 Q8 F0.292
(DIA36MM AVA SISETREIMINE)	G28 U0.
(SISETREIMINE T5)	G28 W0.
T505	M30
G00 G54 Z2.	
G50 S5500	%
G97 S500 M03	
(KONTUURI KOORIVTOOTLUS)	
T505	
G97 S1360	
G00 G54 Z4.	
X23.	
G71 P1 Q8 U-0.6 D1.5 F0.233	
N1 G41 G00 X37.	
N2 G01 Z0.	
N3 X37.	
N4 X36. Z-0.5	
N5 Z-10.	
N6 X24.	
N8 G40 X23.	
G28 U0.	
G28 W0.	
M01	
(O.D. PUHAST66TLUS)	
T505 (80C ROMB)	
G00 G54 Z4. M08	
G50 S5500	
G97 S1300 M03	
X23.	

Lisa 4. Pöördlaua *HRT160* paigaldamise juhend

Laboratoorse töö juhend - *HRT160* paigaldamine

Pöördlaud annab võimaluse töödelda kruvisooni, silindrilisel või koonilisel pinnal paiknevaid juhtsooni, tihendisooni ja töödelda detail vähemate operatsioonidega ning saavutada täpsemas mõõdustikus lõpp produkt. [1]

Töö eesmärk: Pöördlaua *HRT160* tundmaõppimine ja katsetamine

Tööks vajalikud vahendid: Indikaatorkell, kummihaamer, M10 t-mutter(2tk), M10 polt(2tk), mutrivõti SW10.

Tööülesanded.

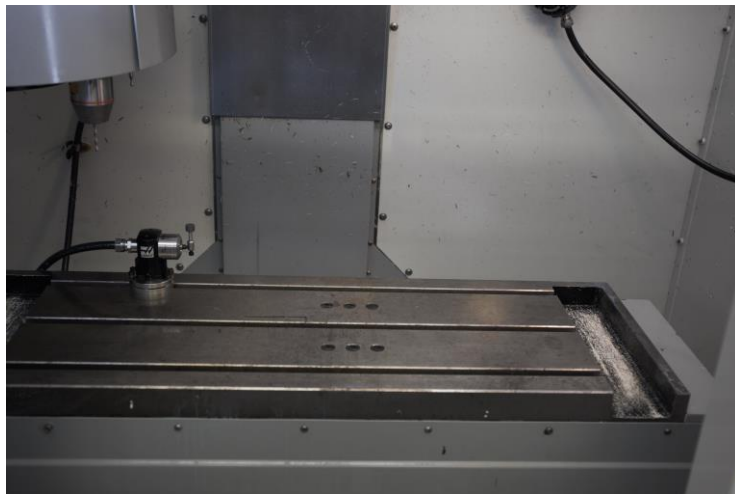
1. Paigaldada pöördlaud *HRT160* freespink *Haas MiniMill*.

Tööohutus.

1. Labortööle tulles peab üliõpilane olema eelnevalt läbinud töötervishoiu ja tööohutusalase juhendamise ning kinnitanud allkirjaga.
2. Iseseisva töö alustamiseks tuleb saada eelnevalt luba õppejõult.

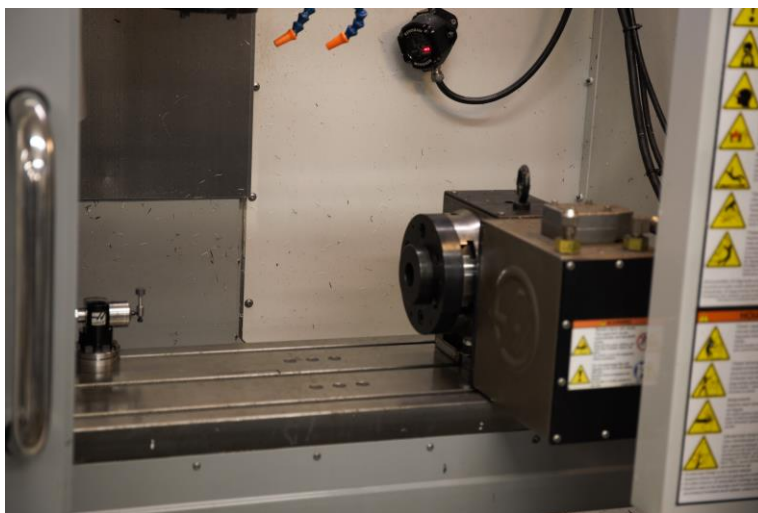
Töö käik.

1. Puhastada töölaud laastust puhtaks.



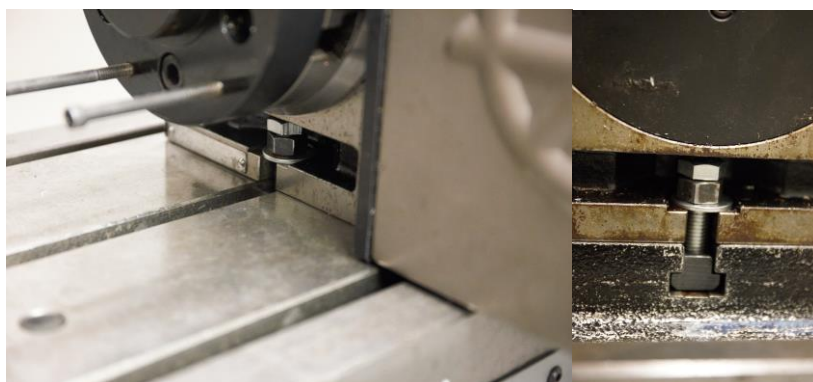
Joonis 1. *Haas MiniMill* töölaud.

2. Paigutada pöördlaud X-telge pidi töölaua keskmisse soonde(A-telg).



Joonis 2. Töölauale paigutatud pöördlaud *HRT160*.

3. Pöördlaud fikseerida kergelt kahest punktist, kasutades M10 polte ja T-muttreid.



Joonis 3. Pöördlaua fikseerimine töölaule.

4. Kontrollida indikaatorkellaga pöördlaua sirgsust Y-telge pidi, vajadusel korrigeerida asetust.



Joonis 4. Indikaatorkell statiiviga.

5. Sirgsuse saavutamisel fikseerida poldid tugevalt.
6. Lülitada välja freespink pealülitist(MAIN SWITCH).
- 7.



Joonist 5. Pealüliti.

8. Ühendada pneumovoolik ning A ja B kaablid.



Joonis 6. Ühendatud A(1) ja B(2) kaabel ning pneumovoolik.

9. Lülitada sisse freespink(jäta *Emergency stop* aktiivseks).

10. Valida *Setting 30* ning lülitada sisse *USER 2*(aktiveerib 4 telje).
11. Aktiveerida *Setting 7*(masina taaskäivitamisel ei muuda eelnevat settingut).
12. Vabastada *Emergency stop*.
13. Nullida kõik teljed(*Zero set* keskkonnas).
14. Manuaalselt sooritada kontroll tiirlemised.
15. Lülitada *Setting 81 - 0* (ei teosta tööriistavahetust *Power Up*'i tehes)

Väljundid: Üliõpilane suudab iseseisvalt paigaldada pöördlaua freespinki ette antud juhiste põhjal, järgides kõiki ohutuseeskirju.

Kasutatud kirjandus

1. In-House Solutions. (2015) Mastercam x⁹ Handbook. Volume 1. Microsoft Corporation.

Lisa 5. Pöördlauale töö seadistamise juhend

Laboratoorse töö juhend – pöördlauale töö seadistamine

Detaili valmise üheks etapiks on töötluskeskuse seadistamine koos vajalike seadmete ja tööriistadega. Korrektne seadistamine tagab kvaliteetse lõpp produkti.

Töö eesmärk: Seadistada freespinkki töö, kus kasutatakse toorikuna nelikant profiili.

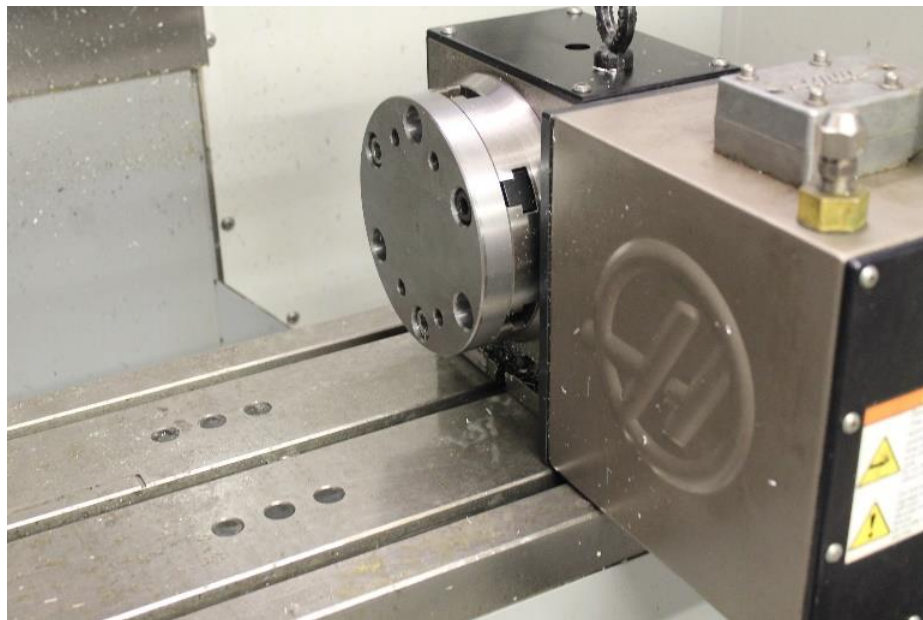
Tööks vajalikud vahendid: *Lang* kruustangid *MacroGrip* 77, kinnitusplaat *QuickPoint* 52, kinnituspaadi ja pöördlaua vaheline flants, 4xM14 polt, 3x 9/16" - 12 UNC, kuuskant võtmed, toorik, nihkkaliiber.

Tööohutus.

1. Labortööle tulles peab üliõpilane olema eelnevalt läbinud töötervishoiu ja tööohutusalase juhendamise ning kinnitanud allkirjaga.
2. Iseseisva töö alustamiseks tuleb saada eelnevalt luba õppejõult.

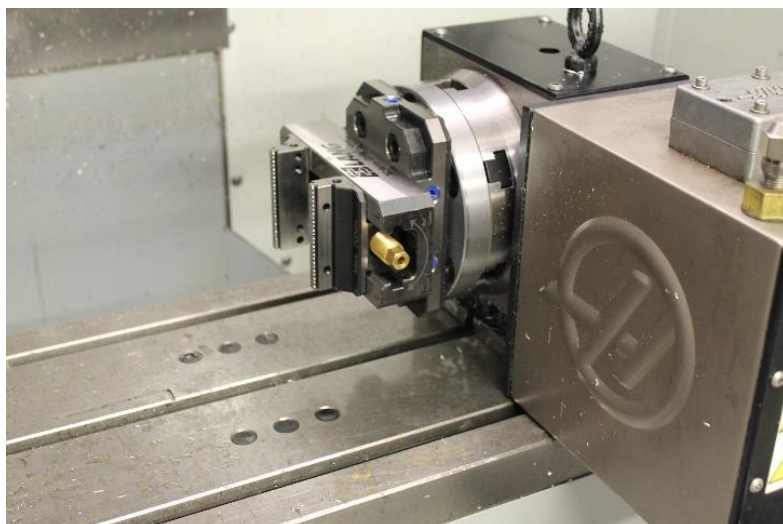
Töö käik.

1. Kinnitada flants pöördlauale, kasutades M14 polte.



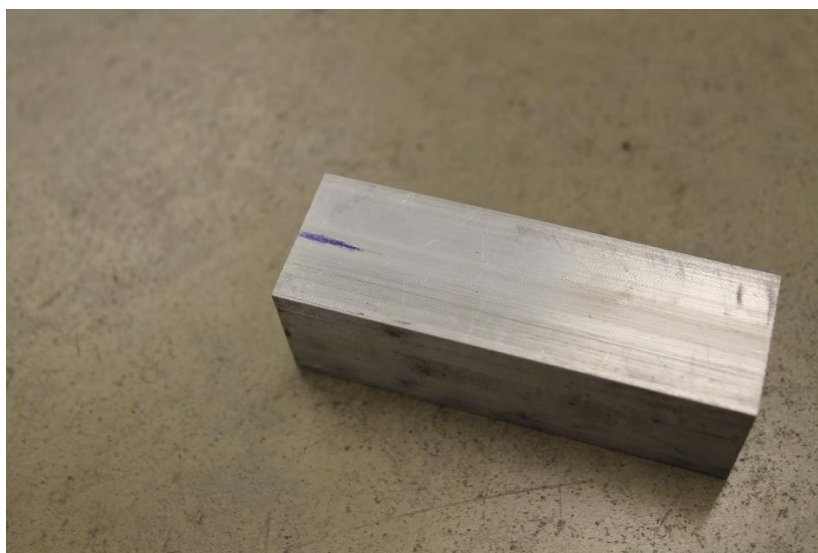
Joonis 1. Pöördlauale kinnitatud flants.

2. Kinnitada *Lang* kruustangid *MacroGrip* 77 koos kinnitusplaadi *QuickPoint* 52 flantsile, kasutades 9/16" - 12 UNC keerme polte.



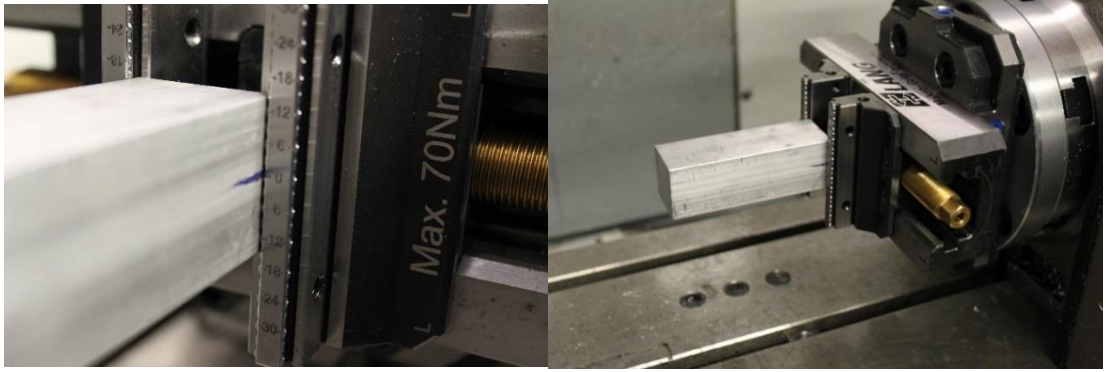
Joonis 2. Pöördlauale kinnitatud kruustangid.

3. Valmistada ette toorik ja märkida tooriku ühele küljele tsentrijoon.



Joonis 3. Tsentrijoonega toorik.

4. Tooriku paigutada kruustangide keskpunkti (kasutada eelnevalt märgitud tsentrijoont).



Joonis 4. Kruustangide vahele paigutatud toorik.

5. Võtta null punktid, Z null paigutada tooriku keskpunkti.
6. Mõõta sisse tööks vajalikud tööriistad.

Väljundid: Üliõpilane suudab iseseisvalt seadistada töö.

Lisa 6. Interaktiivse lõikeinstrumendi kataloogi loomise juhend

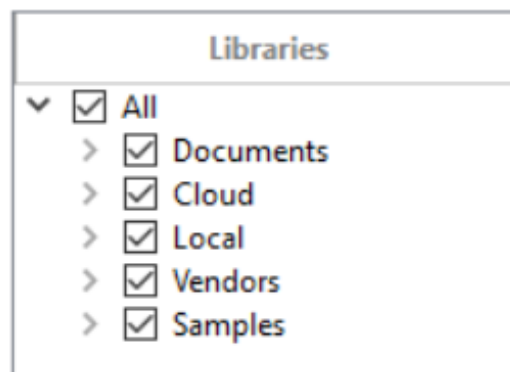
Laboratoorse töö juhend – interaktiivse lõikeinstrumendi kataloogi loomine

Korrektset koostatud lõikeinstrumendi kataloogi olemas olul on lihtsam hallata olemas olevaid tööriistu, kontrollida lõikeinstrumentide sobivust ning kasutamise võimalust konkreetse töö teostamiseks, võimaldab simuleerimisel näha ette kokkupõrkeid tooriku või rakisega

Juurdepääs: Manufacture > Manage paneel > Tool Library 

Lõikeinstrumendi kataloogiboks on jaotatud seitsmeks osaks:

1. **Libraries**(Kataloogid) – hetkel töös olevad kataloogid, kasutaja enda kataloogid, ja standard kataloogid.



Joonis 1. Libraries.

2. **Show/Hide Library tree** – ikooni abil on võimalik peita või näidata katalooge.



Joonis 2. Show/Hide Library tree.

3. **Tool List** - näitab lõikeinstrumendi valikuid, mis on saadaval valitud menüüst.

Name	Flute length	Cutting diameter	Inner radius	Overall length
ST-10 Pehmed pakid v3				
> 1 - Ø10 mm - flat	24.0 mm	10.00 mm	0 mm	30.0 mm
> 2 - Ø1.5 mm - flat	3.00 mm	1.50 mm	0 mm	7.50 mm
> 3 - Ø6 mm 90° - spot drill (ÜLDPIKKUS 72)	4.00 mm	6.00 mm	0 mm	57.0 mm
> 4 - Ø6 mm 60° - spot drill	12.0 mm	6.00 mm	0 mm	30.0 mm
> 5 - Ø63 mm - face mill	12.6 mm	63.0 mm	0 mm	50.0 mm
> 6 - Ø10 mm 120° - drill	43.0 mm	10.00 mm	0 mm	89.0 mm

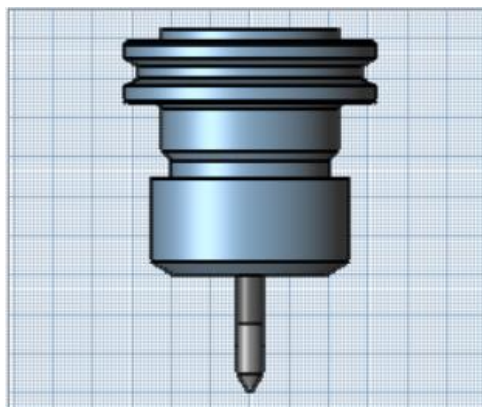
Joonis 3. Tool List.

4. **Tool Info.** - kuvab parajasti valitud lõikeinstrumendi parameetrid.

Tool Info	
Body material code	hss
Tool grade	generic
Geometry	
Coolant supply	false
property	
Cutting diameter	6 mm
Hand	true
Body length	30 mm
Flute length	12 mm
Flute count	4
Tooth count	1
Overall length	30 mm

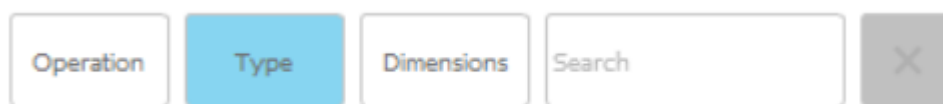
Joonis 4. Tool Info.

5. **Tool Display** - näitab valitud lõikeinstrumendi pilti .



Joonis 5. Tool Display .

6. **Tool Filter** - filtreerib olemasolevate lõikeinstrumendi kuvamise vastavalt seadetele.



Joonis 6. Tool Filter.

7. **New Tool** – loo uus frees, terik või muu nimistus olev lõikeinstrumendi.



Joonis 7. New Tool.

1. Frees lõikeriist;
2. Tööriista hoidik;
3. Trei lõikeriist;
4. Vesi-, laser-, plasmalõikur;
5. Lõikeriistade nummerdamine.

Lõikeinstrumendi kataloog võimaldab hallata freesimise, treimise, lõikamise (vesi, laser ja plasma) lõikeriistu ning mõõtmiseks mõeldud *probe*'i. Saab luua uusi lõikeinstrumente ja hoidikuid või kopeerida olemasolevaid lõikeinstrumente ja hoidikuid. Järgnevas loetelus on välja toodud tegevused, mida on võimalik teha lõikeriista kataloogis:

1. Hallata lõikeinstrumente projekti põhiselt;
2. Hallata olemasolevaid katalooge;
3. Liigutada lõikeinstrumente kataloogide vahel;
4. Modifitseerida olemasolevaid lõikeinstrumente;
5. Vaadata lõikeinstrumendi või hoidiku geomeetriat;
6. Luua uusi katalooge;
7. Sorteerida/filtreerida lõikeinstrumente;
8. Luua uusi lõikeinstrumente, hoidikuid ja *probe*'i;
9. Otsida lõikeinstrumenti kindla termini põhjal;
10. Nummerdada lõikeinstrumendid.

1.1 Lõikeinstrumendi loomine

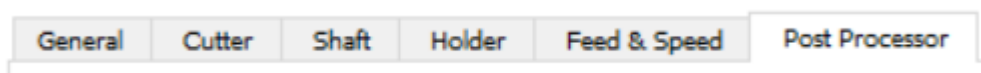
Uue frees lõikuri loomiseks tuleb valida kataloogist freesi ikoon.



Joonis 8. Uue frees lõikuri loomine.

1. Frees lõikur

Valides loo uus frees lõikeriist, ilmub ekraanile aken millel on kuus vahekaarti:



Joonis 9. Vahekaardid.

General - lõikeinstrumendi kirjeldus, tarnija, toote tellimuse andmed.

Cutter - lõikeinstrumendi tüüp, mõõtmed, jahutusvedelik.

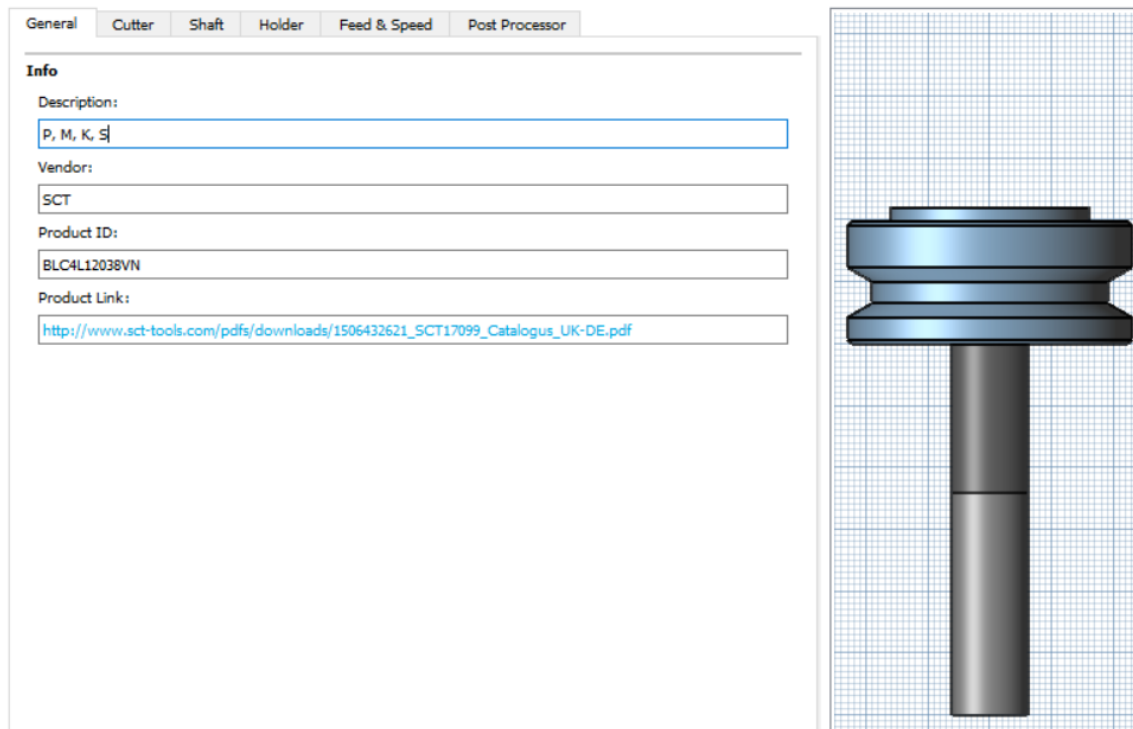
Shaft – lõikeinstrumendi geomeetria täpsustus.

Holder – lõikeinstrumendi hoidik.

Feed & Speed – vaikumisi määratud ettenihked ja spindli pöörlemissageduse määramine.

Post Processor – lõikeinstrumendi numbri ning teiste täpsustuste määramine.

1.1.1 General akna seaded



The screenshot shows a software window with a 'General' tab selected. Below the tab are several sub-tabs: 'Cutter', 'Shaft', 'Holder', 'Feed & Speed', and 'Post Processor'. The 'Info' section contains the following fields:

- Description:
- Vendor:
- Product ID:
- Product Link:

To the right of the form is a 3D model of a tool holder, which is a cylindrical component with a flange at the top, set against a blue grid background.

Joonis 10. General aken.

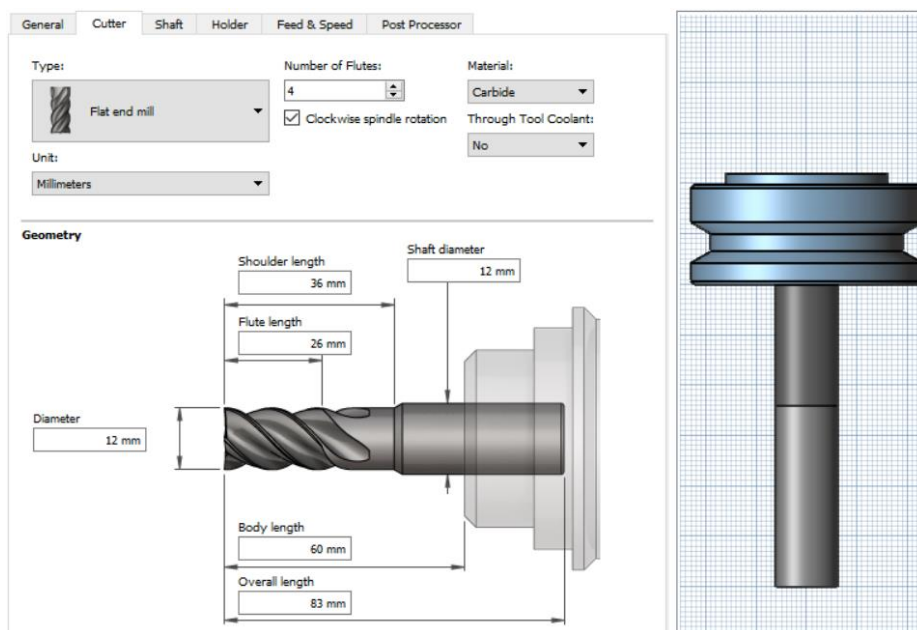
Description - lõikeinstrumendi kirjeldus, mis lisatakse lõikuri nimele juurde kogu CAM süsteemis.

Vendor - lõikeinstrumendi tootja või müüja.

Product id - lõikeinstrumendi müüja identifikaator (ID). See võib olla selle lõikeinstrumendi kataloog, mudel või number.

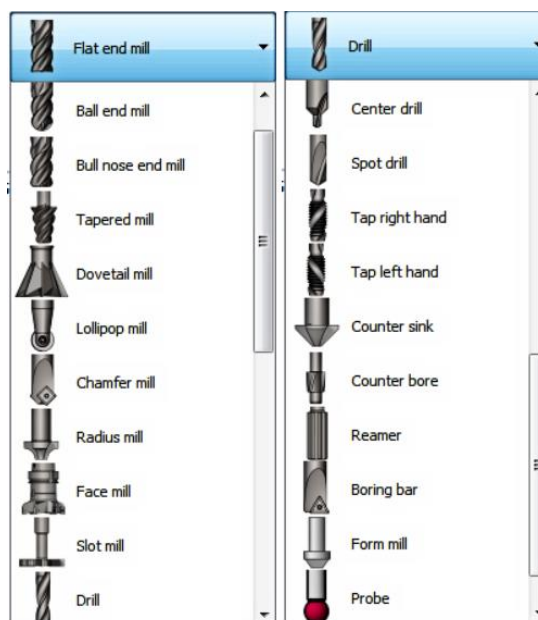
Product Link - lõikeinstrumendi tootja veebisait või kontaktandmed.

1.1.2 Cutter akna seaded



Joonis 11. Cutter aken.

Type - valides kindla tüübi, muutub ka lõikeinstrumendi geomeetria valik.



Joonis 12. lõikeinstrumentide valikud + mõõtesond.

Unit – lõikeinstrumendi mõõtühik.

Number of flutes – hammaste arv lõikeinstrumendi, tk.

Clockwise spindle rotation – aktiivsena pöörleb lõikeinstrument päripäeva, mitteaktiivsena pöörleb vastupäeva.

Material – lõikeinstrumendi materjal. Valikus on *Unspecified*(tuvastamata), *HSS*(kiirlõike teras), *Ti coated*(titaan kattega), *Carbide*(kõvasulam) ja *Ceramic*(keraamika).

Diameter – lõikeinstrumendi läbimõõt, mm.

Tip diameter – lõikeinstrumendi tipu läbimõõt. Kasutatakse faasi freesidel, mm.

Tip angel – lõikeinstrumendi tipunurk, °.

Corner radius – lõikeinstrumendi tipu raadius, mm.

Taper angle – lõikeosa nurk, °.

Flute length– lõikeosa pikkus, mm.

Shoulder length – tööosa pikkus, mm.

Body length – väljaulatuva osa pikkus, mm.

Overall length – üldpikkus, mm.

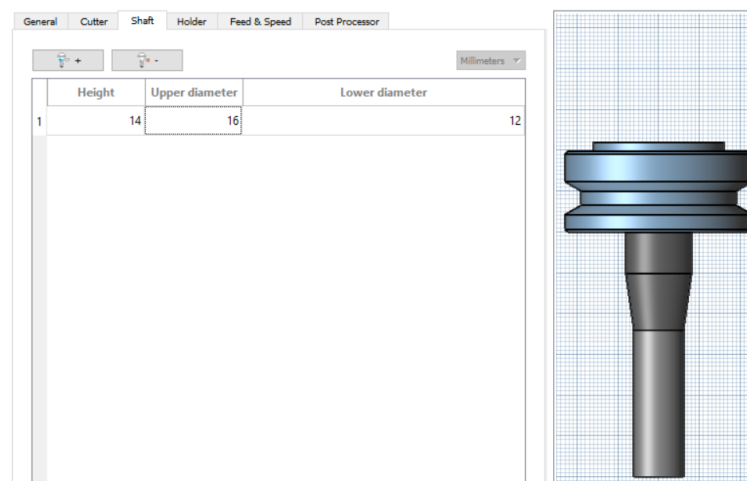
Shaft diameter – kinnituspinna läbimõõt, mm.

Thread pitch – keerme samm keermefreesil, mm.

Number of teeth – hammaste arv keermefreesil, tk.

Thread profile angle – keermefreesi hammaste vaheline nurk, °.

1.1.3 Shaft akna seaded



Joonis 13. Shaft aken.

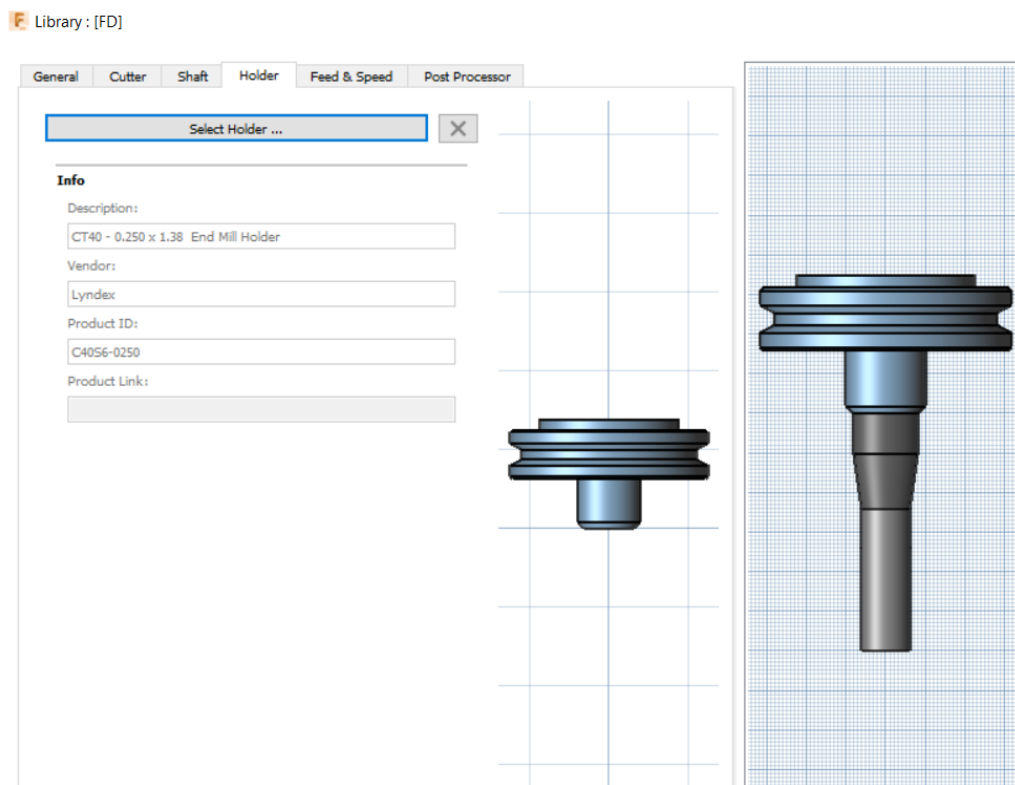
Antud aknas on võimalik modifitseerida kinnituspinna geometriat, mis on tööosa lõpust kuni hoidikuni jääv osa. + ja – valikud võimaldavad lisada või eemaldada lõike.

Height – kinnituspinna lüli pikkus, mm.

Upper diameter – valitud lüli ülemine läbimõõt, mm.

Lower diameter – valitud lüli alumine läbimõõt, mm.

1.1.4 Holder akna seaded



Joonis 14. Holder aken.

Select Holder – valides *select holder* avaneb kataloog, välja on filtreeritud ainult olemasolevad hoidikud. Valikus on erinevate tootjate lõikeinstrumentide hoidikud.

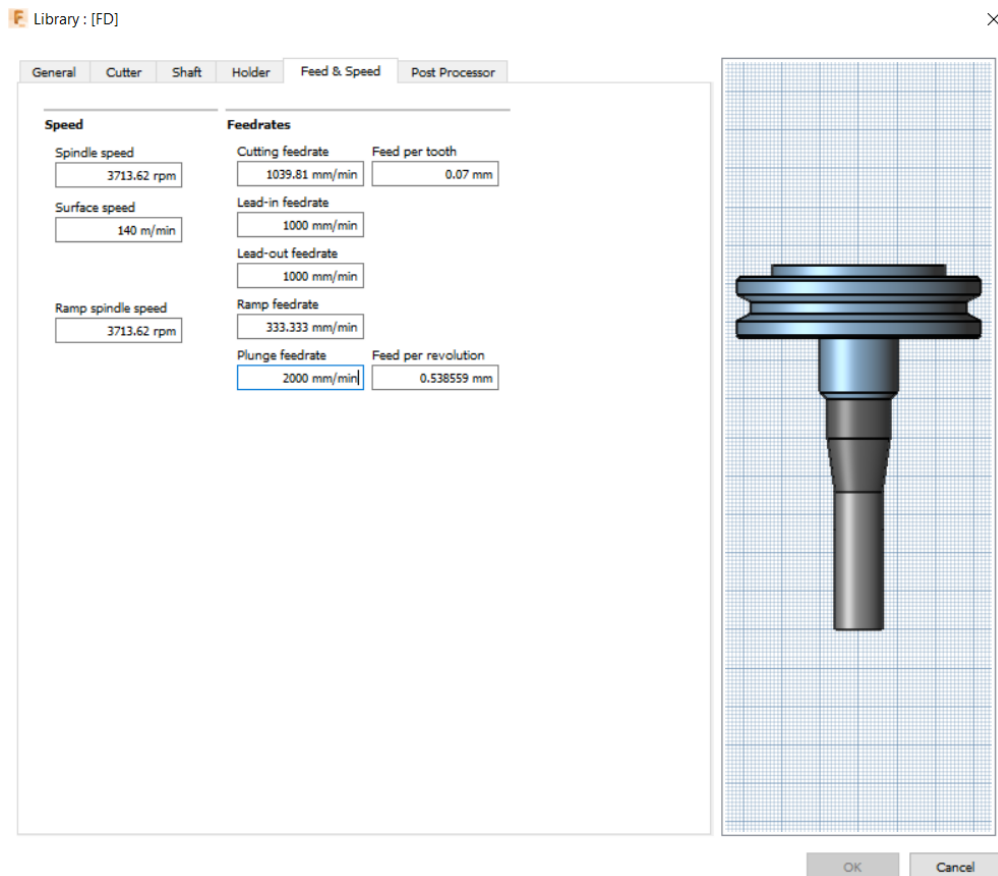
Description – hoidikud kirjeldus. Kirjeldust on võimalik muuta redigeerides kogu hoidikut kataloogis.

Vendor – tootja.

Product ID - müüja identifikaator (ID). See võib olla selle hoidiku kataloog, mudel või number.

Product link - tootja veebisait või kontaktandmed.

1.1.5 Feed and Speed akna seaded



Joonis 15. Feed and speed aken.

Spindel speed – spindli pöörlemis kiirus, rpm.

Surface speed – lõikekiirus, m/min.

Ramp spindle speed – spindli pöörlemis kiirus kaldlõikuse ajal, rpm.

Cutting feedrate – ettenihke kiirus, mm/min.

Feed per tooth – ettenihe hamba kohta, mm.

Lead-in feedrate – ettenihke kiirus lõikesse minekul, mm/min.

Lead-out feedrate – ettenihke kiirus lõikest väljumisel, mm/min.

Ramp feedrate – ettenihke kiirus kaldlõikuse ajal, mm/min.

Plunge feedrate – sirgjooneline liikumine mööda z-telge materjali, mm/min.

Feed per revolution – sirgjoonelise liikumise ettenihe pöörde kohta, mm.

1.1.6 *Post Processor* akna seaded

Number – lõikeinstrumendi number.

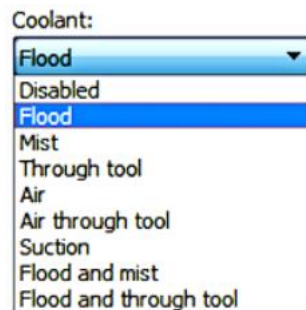
Length offset – lõikeinstrumendi pikkuse kompensatsiooni number.

Diameter offset – lõikeinstrumendi läbimõõdu kompensatsiooni number.

Turret – lõikeinstrumendi turreti positsioon. Kasutatakse treimiseks.

Comment – kommentaar lõikeinstrumendi kirjeldamiseks.

Coolant – lõikeinstrumendi jahutus: 1. Puudub 2. Jahutusvedelik 3. Kaste 4. lõikeinstrumendi läbijahutus 5. Õhkjahutus 6. õhkjahutus läbi lõikeinstrumendi 7. Ima 8. Jahutusvedelik ja kaste koos 9. Jahutusvedelik ja läbijahutus koos.



Joonis 16. Lõikeriista jahutuse valikud.

Manual tool change – lubab manuaalselt lõikeinstrumendi vahetada. Automaatse lõikeinstrumendi vahetiga masinate puhul pole võimalik kasutada.

Live Tool – kasutakse treimisel, Y-teljega pinkidel.

Break Control - võimaldab kontrollida lõikeinstrumendi purunemist pärast kasutamist. Saadab väljundi post protsessorile, mis annab käskluse mõõta lõikeinstrument uuesti.

1.1.7 Harjutus

Koostada lõikeinstrumendi kataloog, kasutades tabelis välja toodud lõikeinstrumente. Abistava materjalina on võimalik kasutada videot lõikeinstrumendi loomisest.

Tabel 1. Andmed harjutuse tegemiseks.

TÖÖRIIST	Ø, mm	TOOTJA	ID	KATALOOG
1. Face mill	63	Kennametal	KSHRHF63A05R S15HN09	https://www.kennametal.com/en/home.html
2. Bull nose	10	SCT	PLAC3L10045V	http://www.sct-tools.com/pdfs/downloads/1506432621_SCT1709_9_Catalogus_UK-DE.pdf
3. Drill	10.2	Precitool	100725	https://shop.precitool.de/bk/WKZ_2018-2019/#page_0.1
4. Flat	1.5	Precitool	175309	https://shop.precitool.de/bk/WKZ_2018-2019/#page_0.1
5. Spot drill	6	Precitool	178715	https://shop.precitool.de/bk/WKZ_2018-2019/#page_0.1

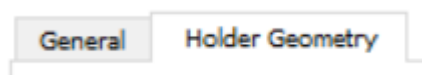
1.2 Hoidiku loomine

Uue lõikeinstrumendi hoidiku loomiseks tuleb valida kataloogist hoidiku ikoon.



Joonis 17. Hoidiku loomine.

Valides loo uus hoidik, ilmub ekraanile aken millel on kaks vahekaarti:

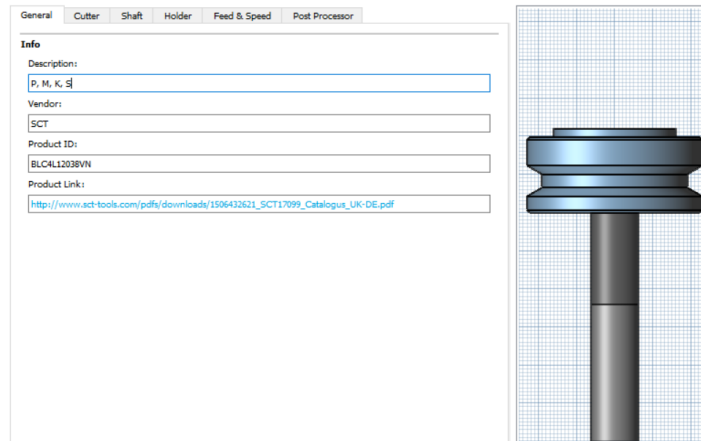


Joonis 18. Vahekaardid.

Holder – hoidiku kirjeldus, tarnija, toote tellimuse andmed.

Holder Geometry – hoidiku kuju definitsioon.

1.2.1 General akna seaded



Joonis 19. General aken

Description - hoidiku kirjeldus, mis lisatakse hoidiku nimele juurde kogu CAM süsteemis.

Vendor - hoidiku tootja või müüja.

Product id - hoidiku müüja identifikaator (ID). See võib olla selle lõikeriista kataloog, mudel või number.

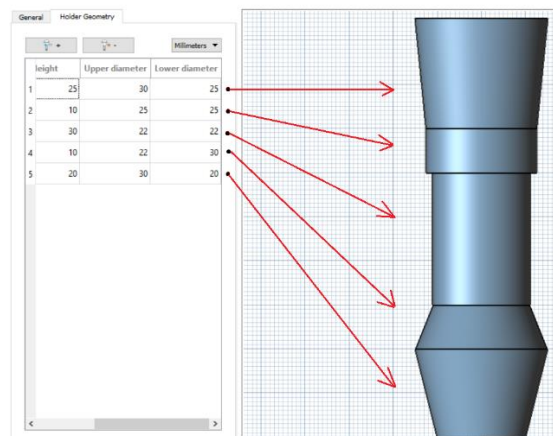
Product Link - hoidiku tootja veebisait või kontaktandmed.

1.2.2 Holder Geometry akna seaded

Height – valitud lüli pikkus, mm.

Upper diameter – valitud lüli ülemine läbimõõt, mm.

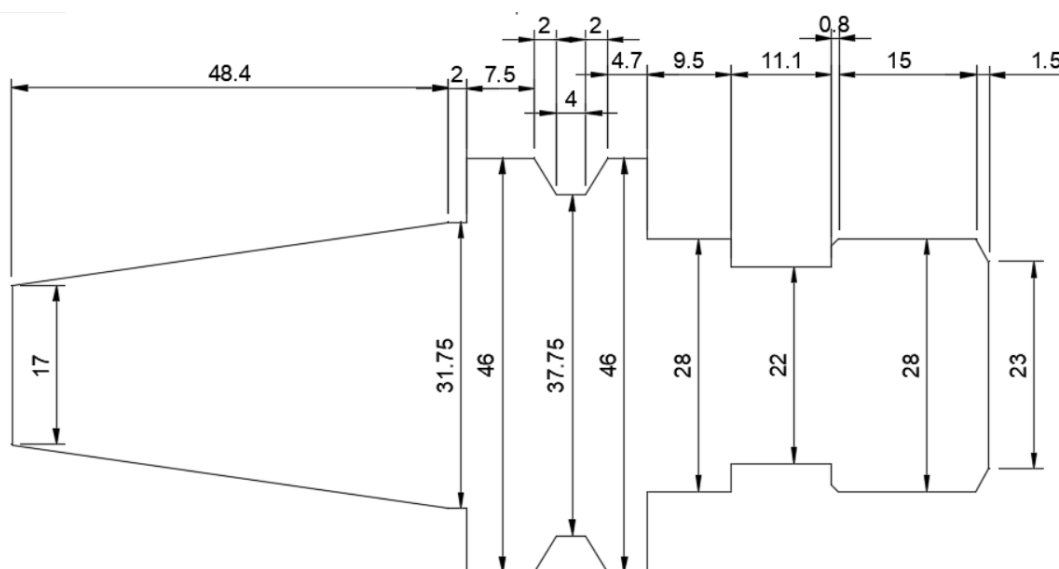
Lower diameter – valitud lüli alumine läbimõõt, mm.



Joonis 20. Holder Geometry aken.

1.2.3 Harjutus

Luu uus hoidik, kasutades joonisel olevaid mõõtmeid. Abistava materjalina on võimalik kasutada videot hoidiku loomisest.



Joonis 21. Hoidiku mõõdud harjutus tegemiseks.

Kasutatud kirjandus

1. Autodesk Inc. [veebileht]

<http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-60F8E660-C050-47CB-A4E1-37A385EDC5BB> (27.04.2019)

Lisa 7. Protsessori modifitseerimine - kohandatud tööriista vahetuse juhend

Laboratoorse töö juhend - protsessori modifitseerimine - kohandatud tööriista vahetus

Paigaldades *Haas MiniMill*'i pöördlaua koos tsentripukiga on üpriski tõenäoline, et pingis pole enam võimalik teostada lõikeinstrumendi vahetust ilma kokkupõrketa tsentripukki, tooriku või pöördlauaga. Antud probleemi lahendamiseks tuleb töölaud juhtida punkti, kus on võimalik teostada ohutu tööriista vahetus(Joonis 1.).

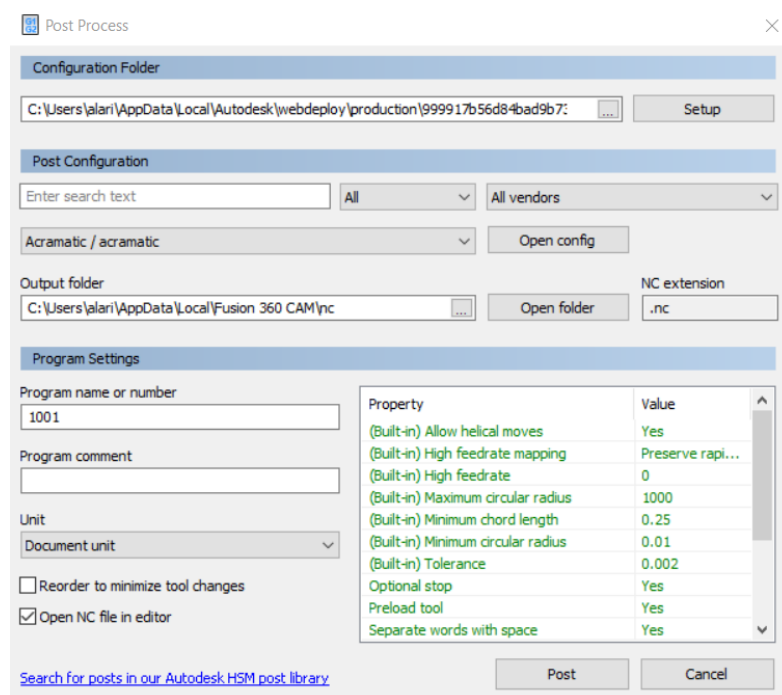
N9 X-200. Y-150.
N10
N11 (KONTUUR)
N12 T5 M6

Joonis 1. Liikumine enne tööriista vahetust.

Töölauda juhtimiseks on võimalik manuaalselt liigutada tööala kindlasse punkti enne instrumendi vahetust. Selline lahendus pikemas perspektiivis on aega nõudev. Probleemi lahendamiseks on võimalik modifitseerida post protsessorit, mille tulemusena töölaud liigub enne igat lõikeinstrumendi vahetust ohutusse punkti.

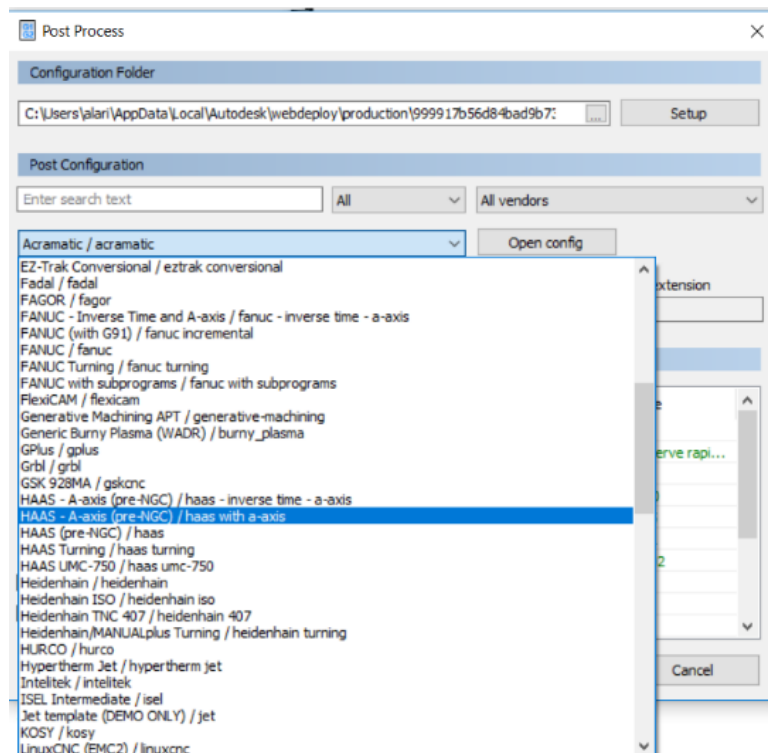
Töö eesmärk: Pärast protsessori modifikatsiooni liigub töölaud ohutusse punkti enne, kui pink sooritab lõikeinstrumendi vahetust. Liikumine toimub x ja y telge pidi.

1. Manufactor keskkonnas avada *Post Process* aken.



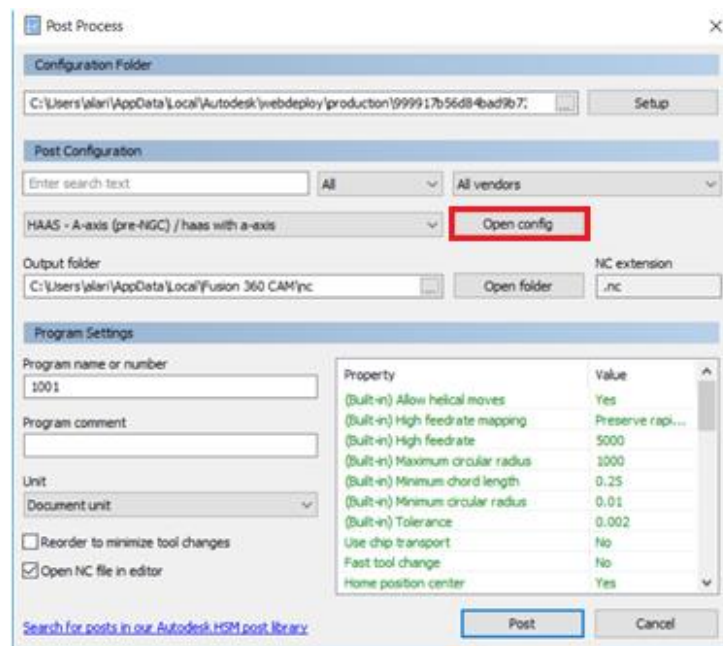
Joonis 2. *Post process* aken.

2. Valida sobiv protsessor.



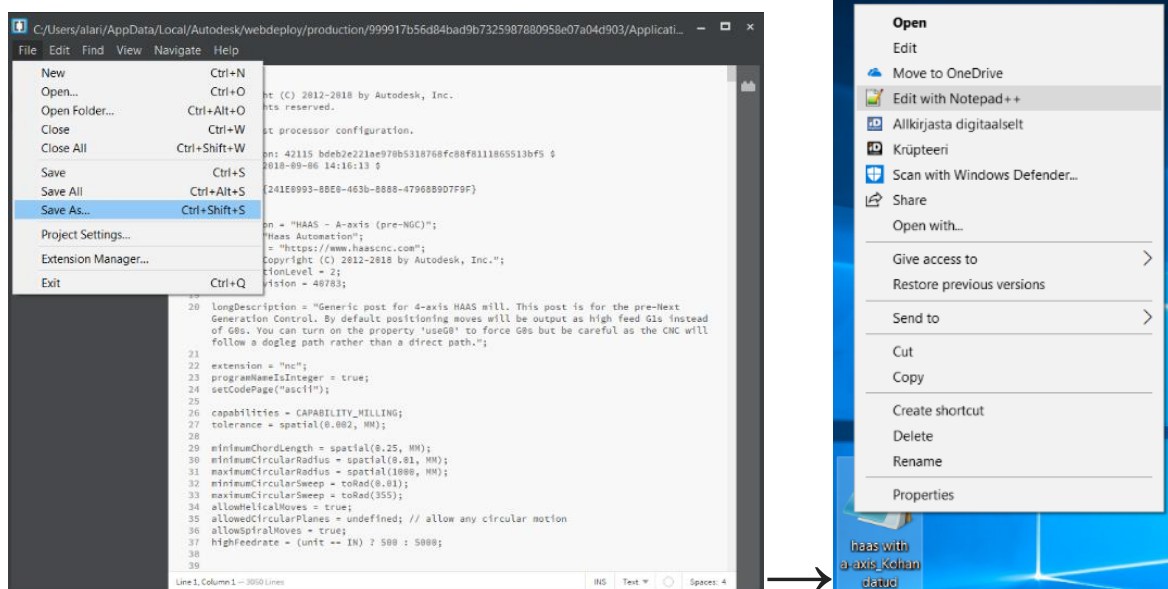
Joonis 3. Protsessori valmine.

3. Valida *Open* configuration.



Joonis 4. *Open configuration*(punasega märgitud).

4. Salvestada konfiguratsioon uue nimega formaati .cps ning avada salvestatud .cps fail Notepad++'is.



Joonis 5. Konfiguratsiooni salvestamine uue nimega ning avamine Notepad++'is.

5. Uue valiku loomine *Property* listi.

```
41 // user-defined properties
42 properties = {
43   writeMachine: true, // write machine
44   writeTools: true, // writes the tools
45   writeVersion: false, // include version info
46   preloadTool: true, // preloads next tool on tool change if any
47   chipTransport: false, // turn on chip transport at start of program
48   showSequenceNumbers: true, // show sequence numbers
49   sequenceNumberStart: 10, // first sequence number
50   sequenceNumberIncrement: 5, // increment for sequence numbers
51   sequenceNumberOnlyOnToolChange: false, // only output sequence numbers on tool change
52   optionalStop: true, // optional stop
53   separateWordsWithSpace: true, // specifies that the words should be separated with a white space
54   useRadius: false, // specifies that arcs should be output using the radius (R word) instead of the I, J, and K words.
55   useParametricFeed: false, // specifies that feed should be output using Q values
56   showNotes: false, // specifies that operation notes should be output
57   useG0: false, // allow G0 when moving along more than one axis
58   useG28: false, // specifies that G28 should be used instead of G53
59   useKohandatud: true, //ohutu tööriista vahetus
60   useSubroutines: false, // specifies that subroutines should be generated
61   useSubroutinePatterns: false, // generates subroutines for patterned operation
62   useSubroutineCycles: false, // generates subroutines for cycle operations on same holes
63   useG187: false, // use G187 to set smoothing on the machine
```

Joonis 6. Uue valiku loomine *Property* listi.

6. Anname *Property* listi loodud valikule nimetuse ning lisame valiku, kas kasutada ohutut lõikeinstrumendi vahetus või mitte.

```
77 propertyDefinitions = {
78   writeMachine: {title:"Write machine", description:"Output the machine settings in the
79   writeTools: {title:"Write tool list", description:"Output a tool list in the header o
80   writeVersion: {title:"Write version", description:"Write the version number in the he
81   preloadTool: {title:"Preload tool", description:"Preloads the next tool at a tool cha
82   chipTransport: {title:"Use chip transport", description:"Enable to turn on chip trans
83   showSequenceNumbers: {title:"Use sequence numbers", description:"Use sequence numbers
84   sequenceNumberStart: {title:"Start sequence number", description:"The number at which
85   sequenceNumberIncrement: {title:"Sequence number increment", description:"The amount l
86   sequenceNumberOnlyOnToolChange: {title:"Block number only on tool change", descriptio
87   optionalStop: {title:"Optional stop", description:"Specifies that optional stops M1 s
88   separateWordsWithSpace: {title:"Separate words with space", description:"Adds spaces l
89   useRadius: {title:"Radius arcs", description:"If yes is selected, arcs are output usi
90   useParametricFeed: {title:"Parametric feed", description:"Parametric feed values bas
91   showNotes: {title:"Show notes", description:"Enable to output notes for operations.",
92   useG0: {title:"Use G0", description:"Specifies that G0s should be used for rapid move
93   useG28: {title:"Use G28 instead of G53", description:"Specifies that machine retracts
94   useKohandatud: {title:"Use Ohutu T vahetus", description:"ohutu.", type:"boolean"},
```

Joonis 7. Nimetuse andmine ning valiku võimaluse lisamine.

7. Defineerime eelpool loodud valiku väärtustega, rida numbriga 1260 jätkub järgmisel lehel.

```
1246 if ((insertToolCall && !properties.fastToolChange) || newWorkOffset || newWorkPlane || toolChecked) {
1247
1248     // stop spindle before retract during tool change
1249     if (insertToolCall && !isFirstSection() && !toolChecked && !properties.fastToolChange) {
1250         onCommand(COMMAND_STOP_SPINDLE);
1251     }
1252
1253     // retract to safe plane
1254     writeRetract(Z);
1255
1256     // save tool change position
1257 // if (insertToolCall && !isFirstSection()) {
1258
1259     if (properties.useKohandatud) {
1260         writeBlock(gMotionModal.format(0), conditional(properties.useKohandatud, "X" + xyzFormat.format(-200.))
1261     }
1262     //}
1263
1264     if (forceResetWorkPlane && newWorkPlane) {
1265         forceWorkPlane();
1266         setWorkPlane(new Vector(0, 0, 0)); // reset working plane
1267     }
1268 }
```

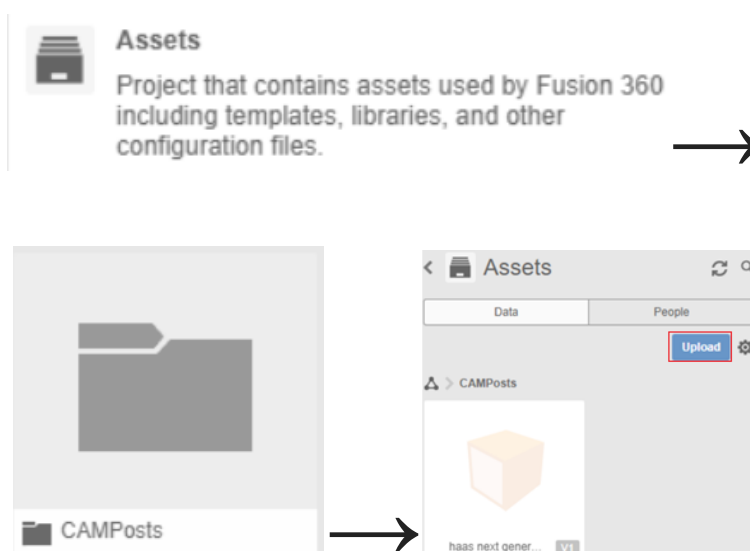
Joonis 8. Property listi loodud valiku defineerimine.

```
(properties.useKohandatud, "X" + xyzFormat.format(-200.)), conditional(properties.useKohandatud, "Y" + xyzFormat.format(-150.)));
```

Joonis 9. Rea 1260 jätk.

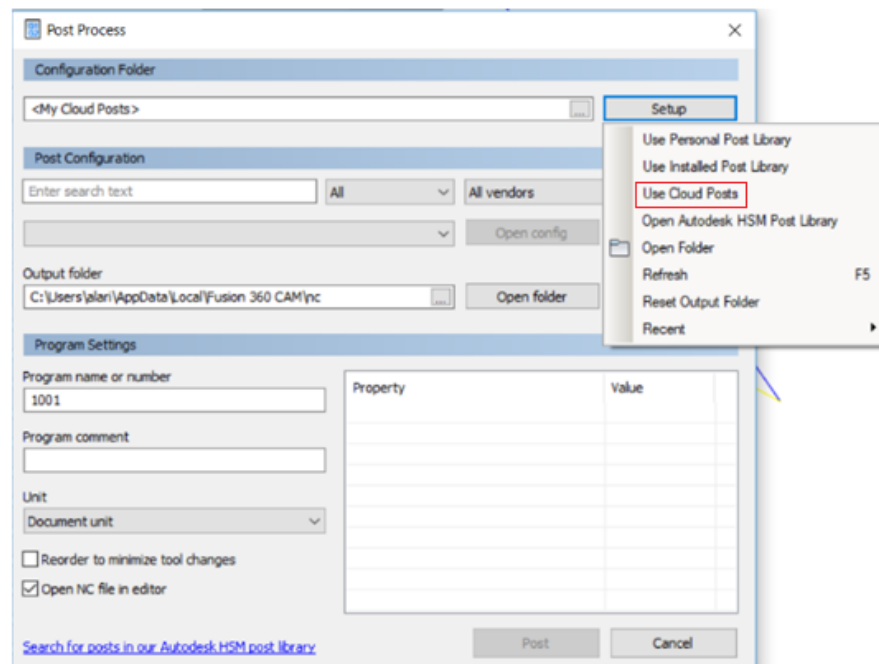
8. Peale muudatuste tegemist salvestada fail.

9. Avada *Fusion360 CAMPost* kaust ning laadida fail sinna.



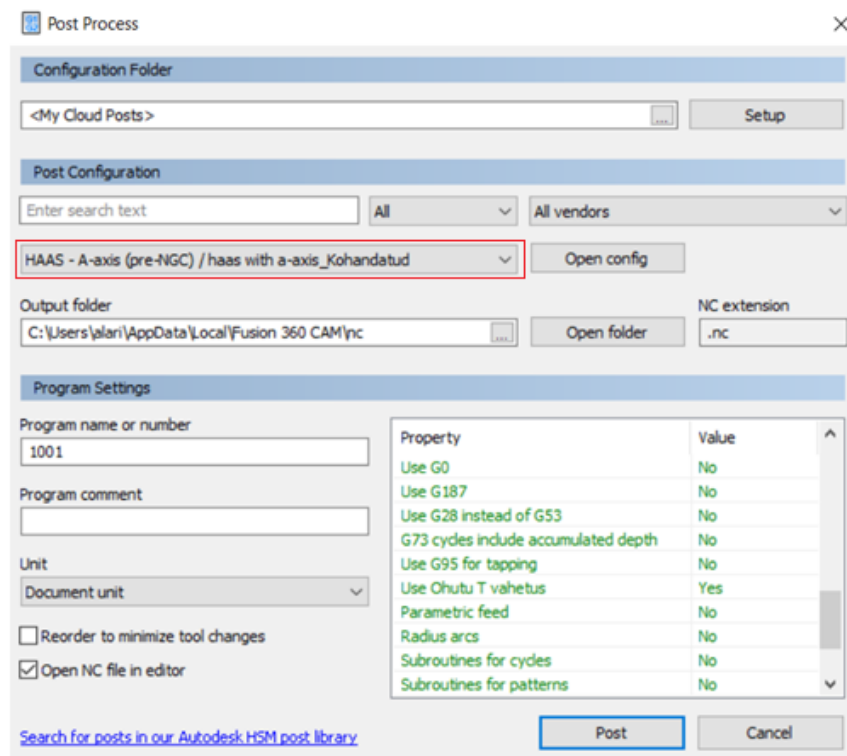
Joonis 10. Uue post protsessori ülesse laadimine.

10. Avada Post *Process* ning *setup*'ist valida *use cloud posts*.



Joonis 11. Modifitseeritud post protsessori valimine.

11. Valida protsessoriks modifitseeritud fail.

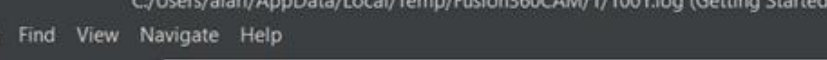


Joonis 12. Modifitseeritud post protsessori valimine

Kui kood on vigadeta kirjutatud, teostatakse enne lõikeinstrumendi vahetust X ja Y liikumine.

Joonis 13. Korrektselt modifitseeritud protsessor.

Vigase protsessori koodi korral edastatakse vea teada, ning märgitakse ära rea number, kus viga paikneb.



The screenshot shows a code editor window titled "C:/Users/alari/AppData/Local/Temp/Fusion360CAM/1/1001.log (Getting Started) - Brackets". The editor has a menu bar with "File", "Edit", "Find", "View", "Navigate", and "Help". On the left, a sidebar shows "Working Files" with "1001.log" selected. Below it, a "Getting Started" section lists "screenshots", "index.html", and "main.css". The main editor area displays the contents of "1001.log":

```

1 Error: Failed to evaluate post configuration.
2 Code page changed to '1257 (ANSI - Baltic)'
3 Start time: Thursday, May 2, 2019 10:59:10 AM
4 Error: Syntax error: } at line 1261 does not match ( at line 1260.
5 *****
6

```

Line 4 is highlighted with a red box, indicating the syntax error.

Joonis 14. Vigaselt modifitseeritud protsessor.

Abistava materjalina on kasutada video.

Kasutatud kirjandus

1. NYC CNC. [veebileht]

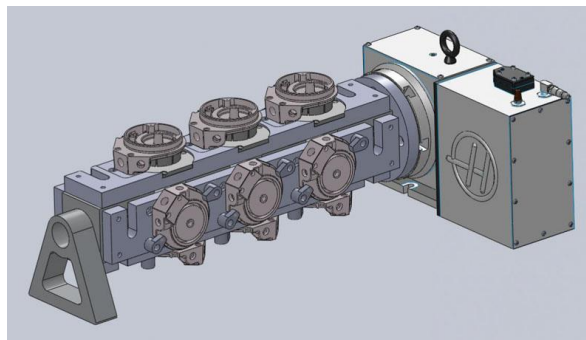
<https://www.nyccnc.com/editing-cnc-post-processors-send-machine-location/> (24.04.2019)

Lisa 8. *Fusion 360* - pöördlaua kasutamise juhend

Laboratoorse töö juhend - *Fusion 360*'s pöördlaua kasutamine

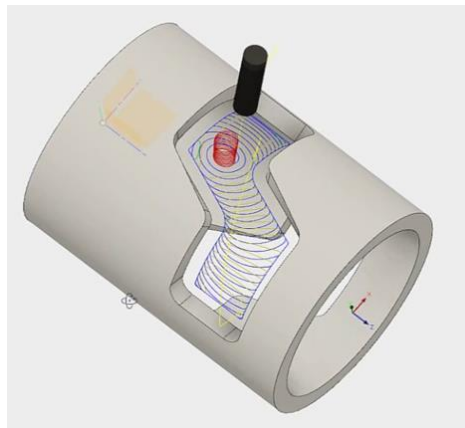
Fusion 360 Manufactor keskkonnas on võimalik kasutada pöördlauda kahel erineval viisil:

1. Indekseerimiseks(Joonis 1.) – A-telg juhitakse etteantud koordinaadile ning edasine töötlus toimub X-, Y- ja Z-telje abil. Indekseerimist saab kasutada kõikide töötlemise viiside puhul. Funktsioon on leitav on leitav geomeetria aknast.



Joonis 1. Indekseerimine

2. *Wrapping*(Joonis 2.) – pöördlauda kasutatakse pidevalt liikuva teljena. Pöörlemine toimub töötluste ajal ning lõikeinstrumendi liikumine on piiratud, kas X-, Y- või Z-teljega. Antud valikut saab kasutada ainult *2D Adaptive*, *2D Pocket* ja *2D Contour* tööradade loomise puhul. Töötluste kasutamiseks tuleb valida töörada ning silinder pind pärast mida programm arvutab välja geomeetria ning loob töötlusrajad. *Wrapping* tööraja funktsioon on leitav geomeetria aknast.



Joonis 2. *Wrapping* – pidevalt liikuv telg.

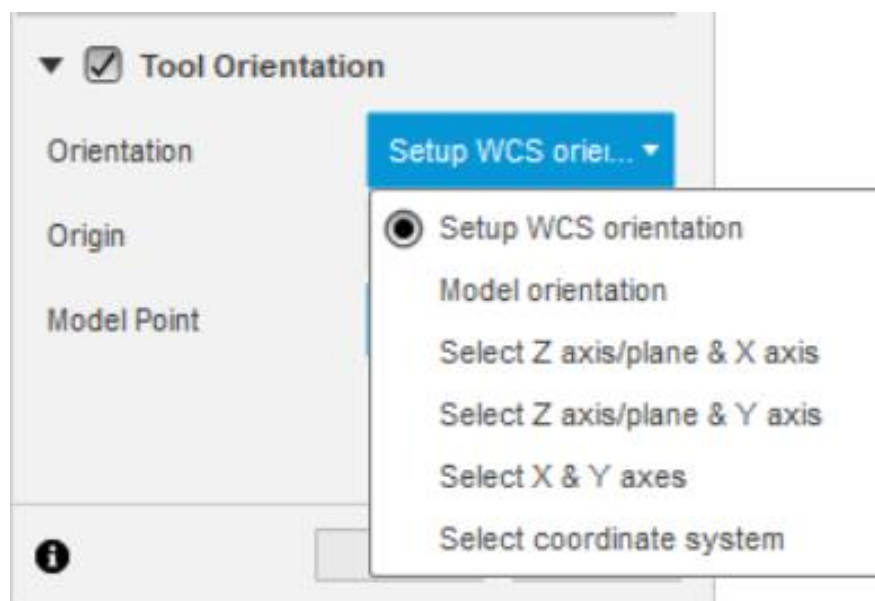
Piirangud:

1. Ei võimalda luua pidevat freesimist, mille käigus kõik neli telge oleksid samaaegselt töös.
2. Pole suuteline töötleva 3D pindu kasutades samal ajal kõiki nelja telge.
3. Töötleb ainult silinder kehasid.
4. 4nda telje funktsionaalsus fusion 360's on hetkel väga primitiivne.

1. Indekseerimine

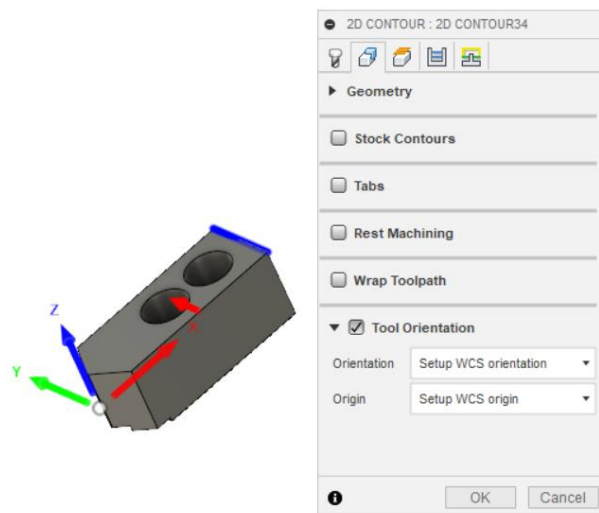
Indekseerimise kasutamiseks tuleb esmalt valida valida sobiv töötlus viis. Seejärel liikuda geomeetria aknasse ning aktiveerida *Tool Orientation* valik.

Orientation (Joonis 3.) - Määrab lõikeinstrumendi orientatsiooni, kasutades X, Y, ja Z suunda.



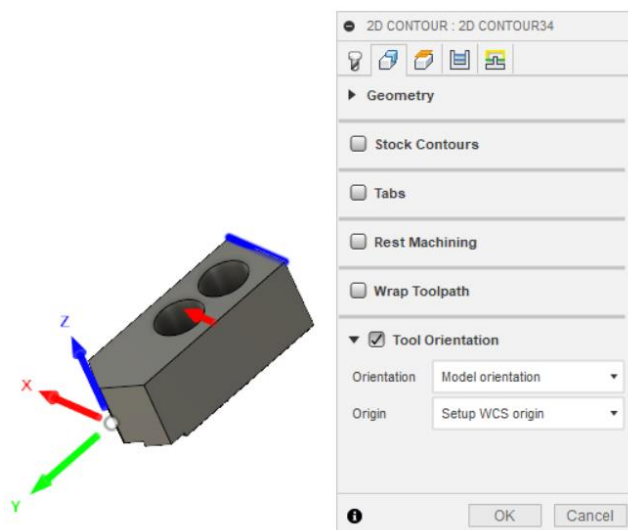
Joonis 3. *Orientation*.

Setup WCS orientation (Joonis 4.) – Kasutab seadistusele määratud X, Y, Z suundasid. Rippmenüüst *Origin* on võimalik valida: 1. *Setup WCS origin* – Kasutab seadistusele määratud X, Y, Z suundasid. 2. *Model origin* – kasutab mudelile määratud X, Y, Z suundasid. 3. *Selected point* – Võimaldab valida kindla serva või punkti. 4. *Stock box point* – Võimaldab valida toorikult ühe punkti. 5. *Model box point* – Võimaldab valida mudelilt ühe punkti.



Joonis 4. Setup WCS orientation.

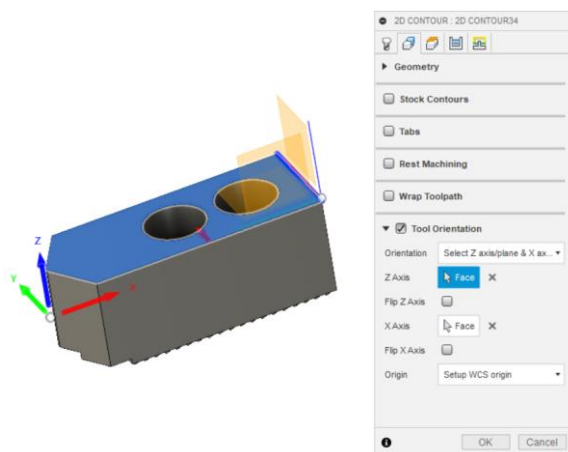
Model orientation (Joonis 5.) – Kasutab mudelile määratud X, Y, Z suundasid. Rippmenüüst *Origin* on võimalik valida: 1. *Setup WCS origin* – Kasutab seadistusele määratud X, Y, Z suundasid. 2. *Model origin* – Kasutab mudelile määratud X, Y, Z suundasid. 3. *Selected point* – Võimaldab valida kindla serva või punkti. 4. *Stock box point* – Võimaldab valida toorikult ühe punkti. 5. *Model box point* – Võimaldab valida mudelilt ühe punkti.



Joonis 5. Model orientation.

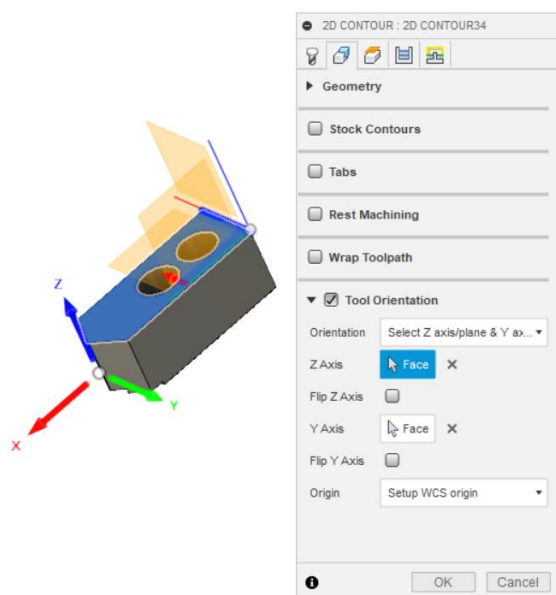
Select Z axis/plane & X axis (Joonis 6.) – Võimaldab valida pinna või serva mis defineerib Z-telje (*Z axis*) ja X-telje (*X axis*) orientatsiooni. Mõlemaid suundasid on võimalik keerata vastupidisesse suunda (*Flip Z Axis*, *Flip X Axis*). Rippmenüüst *Origin* - on võimalik valida: 1. *Setup WCS origin* – Kasutab seadistusele määratud X, Y, Z suundasid. 2. *Model origin* –

Kasutab mudelile määratud X, Y, Z suundasid. 3. *Selected point* – Võimaldab valida kindla serva või punkti. 4. *Stock box point* – Võimaldab valida toorikult ühe punkti. 5. *Model box point* – Võimaldab valida mudelilt ühe punkti.



Joonis 6. *Select Z axis/plane & X axis.*

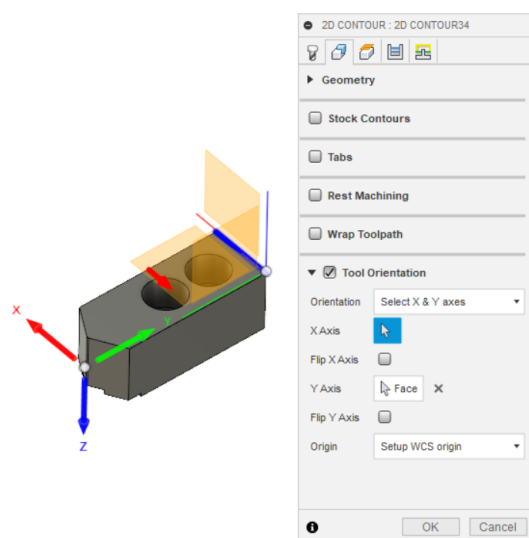
Select Z axis/plane & Y axis (Joonis 7.) – Võimaldab valida pinna või serva mis defineerib Z-telje (*Z axis*) ja Y-telje (*Y axis*) orientatsiooni. Mõlemaid suundasid on võimalik keerata vastupidisesse suunda (*Flip Z Axis*, *Flip Y Axis*). Rippmenüüst *Origin* - on võimalik valida: 1. *Setup WCS origin* – Kasutab seadistusele määratud X, Y, Z suundasid. 2. *Model origin* – Kasutab mudelile määratud X, Y, Z suundasid. 3. *Selected point* – Võimaldab valida kindla serva või punkti. 4. *Stock box point* – Võimaldab valida toorikult ühe punkti. 5. *Model box point* – Võimaldab valida mudelilt ühe punkti.



Joonis 7. *Select Z axis/plane & Y axis.*

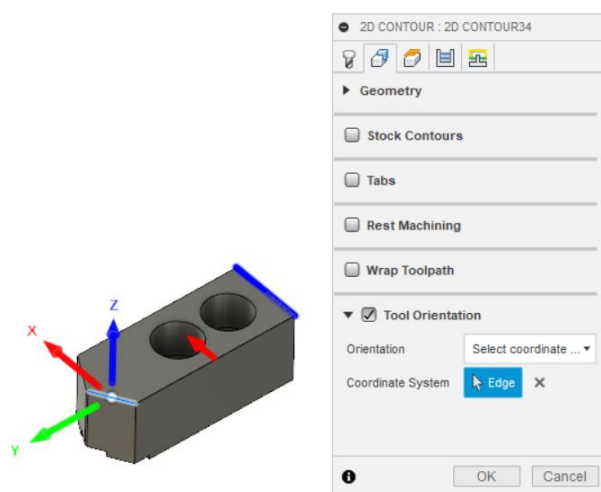
Select X & Y axes (Joonis 8.) – Võimaldab valida pinna või serva mis defineerib X-telje (X axis) ja Y-telje (Y axis) orientatsiooni. Mõlemaid suundasid on võimalik keerata vastupidisesse suunda (*Flip X Axis*, *Flip Y Axis*). Rippmenüüst *Origin* - on võimalik valida:

1. *Setup WCS origin* – Kasutab seadistusele määratud X, Y, Z suundasid.
2. *Model origin* – Kasutab mudelile määratud X, Y, Z suundasid.
3. *Selected point* – Võimaldab valida kindla serva või punkti.
4. *Stock box point* – Võimaldab valida toorikult ühe punkti.
5. *Model box point* – Võimaldab valida mudelilt ühe punkti.



Joonis 8. *Select X & Y axes.*

Select coordinate system (Joonis 9.) – Võimaldab valida pinna või serva ning kasutab mudelile määratud suundasid nullpunkti määramisel.

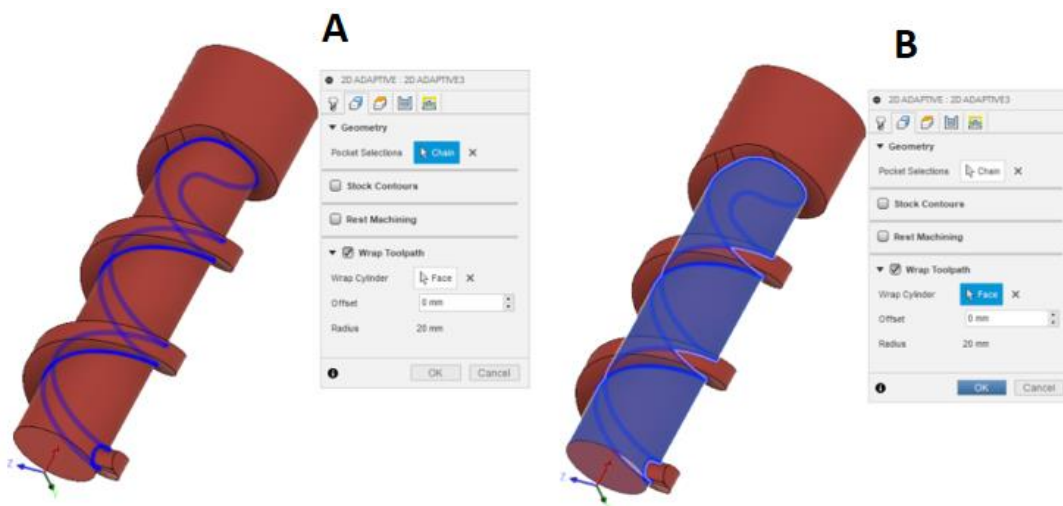


Joonis 9. *Select coordinate system.*

Ülesanne: Luua treipakkide töötlemiseks programm kasutades funktsiooni *Tool Orientation*. Mudeli loomisel võtta eeskujul olemasolevatest standardsetest treipakkidest. Abistava materjalina on võimalik kasutada videot programmi loomisest.

2. Wrapping – pidevalt liikuv telg.

Wrap Toolpath funktsiooni kasutamiseks tuleb valida *2D Adaptive*, *2D Pocket* või *2D Contour* töötlusviis. Seejärel liikuda geomeetria aknasse ning aktiveerida *Wrap Toolpath* valik. Peale aktiveerimist *Geometry*'s valida töörada (Joonis 10.-A) ning siis silinder pind (*Wrap Toolpath*) (Joonis 10.-B). Funktsioon ei tööta, kui valida koonus või ebakorrapärane pind. *Offset* valik võimaldab nihutada töörada suuremaks või väiksemaks.



Joonis 10. A- kontuuri valik. B- silinder pinna valimine.

Ülesanne: Modelleerida kruvikonveier ning programmi loomisel kasutada *Wrap Toolpath* funktsiooni. Dimensioonid valida vastavalt materjali olemasolule. Abistava materjalina on võimalik kasutada videot programmi loomisest.

Kasutatud kirjandus

1. Autodesk Inc. [veebileht]

<http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-60F8E660-C050-47CB-A4E1-37A385EDC5BB> (24.04.2019)

Lisa 9. Lihtlitsents

Mina _____ ALARI KUKK _____,
(*autori nimi*)
sünniaeg _____ 21.06.1993 _____.

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

ÕPPEVAHEND PÖÖRDLAUA KASUTAMISEST

CNC-TÖÖTLEMISKESKUSES,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____ TÕNU LEEMET _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)